Francisco Recio del Bosque

Química Orgánica

Cuarta edición



QUÍMICA ORGÁNICA



Francisco Higinio Recio del Bosque

Revisoras técnicas

C. Dr. Jimena S. Zugazagoitia

Profesora

Facultad de Ciencias, UNAM

Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, CCM

M. en C. Rosa Zugazagoitia Herranz

Profesora

Universidad Autónoma Metropolitana–Xochimilco



MÉXICO • BOGOTÁ • BUENOS AIRES • CARACAS • GUATEMALA • MADRID • NUEVA YORK
SAN JUAN • SANTIAGO • SAO PAULO • AUCKLAND • LONDRES • MILÁN • MONTREAL
NUEVA DELHI • SAN FRANCISCO • SINGAPUR • ST. LOUIS • SIDNEY • TORONTO

Gerente editorial: Alejandra Martínez Ávila
Edición: Luis Amador Valdez Vázquez
Supervisora de producción: Marxa de la Rosa Pliego
Diseño de portada: Javier Caballero





McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
A Subsidiary of The McGraw-Hill Companies, Inc.

Punta Santa Fe,
Prolongación Paseo de la Reforma 1015, Torre A,
Piso 17, Colonia Desarrollo Santa Fe,
Delegación Álvaro Obregón
C.P. 01376, México, D.F.

Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana, Reg. Núm. 736

ISBN: 978-607-15-0849-2
(ISBN: 978-970-10-6501-3 tercera edición)

1234567890
Impreso en México

1098765423
Printed in Mexico

Este libro está dedicado a:

Rebeca Elia
mi esposa

Irasema Yazmín
Ileana Yadira
David Eliezer
mis hijos

por su amor, comprensión y apoyo.

Presentación

Esta cuarta edición constituye un auxiliar didáctico que abre una ventana al maravilloso mundo de la química orgánica; satisface los contenidos programáticos del bachillerato de los diferentes subsistemas educativos, no sólo de México, sino de los países de habla hispana, principalmente los latinoamericanos.

Desde siempre, la intención del autor ha sido que los estudiantes aprecien la química, no sólo en forma teórica, alejada de su realidad, sino que sean conscientes de que es una ciencia sumamente vinculada a su vida cotidiana.

A lo largo del curso comprenderán que los seres vivos estamos formados por moléculas orgánicas, proteínas, ácidos nucleicos, azúcares y grasas, compuestos cuya base principal es el carbono, presente en las moléculas de millones de compuestos orgánicos. Y que los alimentos, la fabricación de fibras sintéticas para la industria del vestido, la elaboración de sustancias como los medicamentos y los fertilizantes, o bien el uso de aleaciones especiales para la fabricación de maquinaria, entre otros, tienen su origen en la química orgánica.

Con este trabajo no se pretende formar "químicos", lo que se busca es crear individuos con conciencia de su entorno, tanto artificial como natural y que aprecien los conocimientos que se muestran como herramienta valiosa en la satisfacción de sus necesidades presentes y futuras, sin olvidar a las generaciones que nos van a preceder.

Los conocimientos de las humanidades son tan importantes como los que se adquieren por medio de las ciencias, y en su conjunto permiten al alumno tener una visión más amplia de la realidad que vive, para convertirse en un mejor individuo para sí mismo, su familia y para la sociedad, de la cual es parte, la que además, construye.

En *Química orgánica* los conocimientos referidos a la materia se presentan en siete unidades cuyos contenidos teóricos están íntimamente relacionados con la vida cotidiana mediante lecturas, laboratorios, conceptos nuevos, experiencias y ejercicios, con todo ello el estudiante advertirá el grado de comprensión que va obteniendo a lo largo del curso. Cada unidad inicia con un mapa conceptual, para que anticipadamente se adviertan las ideas relevantes de su contenido. En orden lógico se tratan: la importancia del átomo de carbono, los compuestos que forma al unirse con el hidrógeno, la sustitución de átomos de hidrógeno en dichos compuestos por halógenos, oxígeno y nitrógeno; en la unidad 6 se tratan las biomoléculas como un acercamiento a la bioquímica; en la última unidad se abre otra pequeña ventana referida a la tecnología química, con el fin de que el alumno aprecie el impacto socioeconómico de los productos químicos derivados de petróleo.

Es preciso mencionar que la práctica enseñanza-aprendizaje se fortalece mediante la interacción docente-alumno cuando se cuestionan y analizan los conocimientos para profundizar en ellos y enriquecerlos logrando así el éxito en esta materia.

Esta obra tiene dos destinatarios: docentes y estudiantes. A los maestros que imparten la materia les sirve de guía para preparar sus clases y a los estudiantes les brinda información precisa con respecto al programa de estudio.

Agradeceré sobremanera las observaciones o comentarios que profesores y alumnos consideren útiles para mejorar el presente trabajo, favor de dirigirlos a la siguiente dirección electrónica: franciscohrecio@gmail.com

Francisco Higinio Recio del Bosque
Saltillo, Coahuila, 2012

Acerca del autor



Francisco H. Recio del Bosque nació en la ciudad de Saltillo, Coahuila y su infancia transcurrió en la congregación de Jamé, enclavada en la Sierra de Arteaga, Coahuila. Se graduó como profesor de Educación Primaria en la Escuela Normal de Coahuila, ejerciendo su profesión en la Alta Tarahumara de Chihuahua. Es graduado como Maestro en Educación Media y Normal en la Escuela Normal Superior de Monterrey, Nuevo León, en la especialidad de Física y Química. Ha sido docente durante más de 30 años en escuelas secundarias y de bachillerato impartiendo matemáticas, física y química. Ha sido presidente de academias de química locales y regionales en los niveles medio básico y superior; y ha desempeñado puestos administrativos como subdirector en el nivel medio básico y director en el nivel medio superior, además de haber sido Coordinador de la Unidad Saltillo de la Universidad Autónoma de Coahuila, lo que le ha permitido, sin abandonar la docencia, escribir libros de química para los tres grados de secundaria y los de química inorgánica, orgánica y general para bachillerato.

Su pasión por la enseñanza de la química, ubicándola como parte de la vida cotidiana, más allá de la química teórica, le ha dado la oportunidad de escribir varias obras de esta disciplina editadas por McGraw-Hill Interamericana Editores.

Su pasatiempo consiste en cultivar en un huerto familiar, dedicado a su esposa, hijos y nietos, árboles frutales y verduras diversas, además de tocar la armónica como aficionado.

Contenido

Unidad 1

La química orgánica y el singular elemento carbono



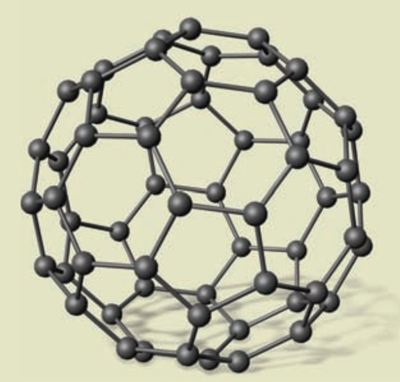
El carbono puro forma el diamante —la sustancia natural más dura—, los fullerenos —una molécula que guarda gran parecido con un balón de futbol— y el grafito, que se puede encontrar en la punta de los lápices. Pero lo más importante es que el átomo de carbono está presente en todos los compuestos orgánicos.

Los fullerenos presentan forma de esferas, elipsoides o cilindros y son la tercera forma más estable del carbono. El más conocido es el buckminsterfullereno, constituido por 60 átomos de carbono (C_{60}), nombrado así en honor al ingeniero y arquitecto, Richard Buckminster Fuller, quien construyó el domo geodésico como el que aparece en la imagen.

Contenido

Objetivo de la unidad

Al concluir la unidad el alumno conocerá el campo de estudio de la química orgánica, su concepto y su importancia en la vida diaria. También será capaz de explicar la tetravalencia del carbono y sus distintas hibridaciones, además de poder clasificar los compuestos orgánicos según su estructura.

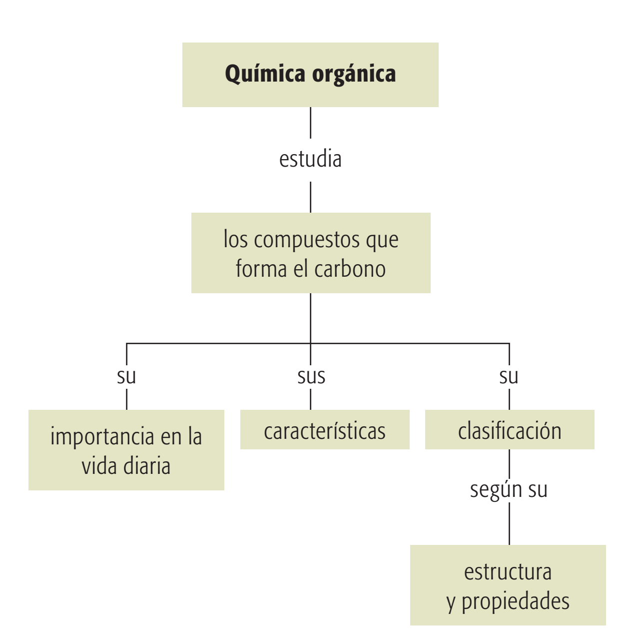


Fullereno

¿Cuánto sabes?

1. ¿En qué grupo y en qué periodo de la tabla periódica se ubica el carbono?
2. Proporciona la configuración electrónica del $_6C$.
3. ¿Cuántos electrones de valencia tiene el carbono?
4. ¿Cómo se forma un enlace covalente?
5. Usa estructuras de Lewis para representar una molécula que contenga un átomo de carbono y cuatro de hidrógeno (CH_4)
6. Al quemar parcialmente un trozo de madera ¿qué supones que es el material que queda?
7. De las siguientes sustancias comunes: sal y azúcar, ¿cuál de ellas es de origen orgánico?
8. Revisa la etiqueta de alguna camisa, menciona si la fibra textil que la forma es natural o sintética.

Mapa conceptual Unidad 1.1



Introducción

De una manera simplista, se puede afirmar que las sustancias naturales que se encuentran al alcance del hombre pertenecen a tres grandes reinos: mineral, vegetal y animal. Antes de 1828 se clasificó a los compuestos en **inorgánicos** (forman parte del reino mineral) y en **orgánicos**, éstos son producidos por los seres vivos (reinos vegetal y animal). En aquellos años se pensaba que el hombre no podría producir

artificialmente los compuestos orgánicos, ya que se creía que para formarlos intervenía un agente al que se llamó “fuerza vital”, que se suponía sólo se encontraba en los seres vivos. El concepto de fuerza vital se desechó gracias a los trabajos del químico alemán Friedrich Wöhler, quien en 1828 obtuvo en su laboratorio, a partir del cianato de amonio ($\overset{+}{NH_4}\ \overset{-}{O}CN$), una sustancia inorgánica, la **urea** $CO(NH_2)_2$.

Síntesis de urea

$$\overset{+}{NH_4}\ \overset{-}{O}CN \longrightarrow \begin{matrix} H_2N \\ \quad \diagdown \\ \qquad C{=}O \\ \quad \diagup \\ H_2N \end{matrix}$$

Cianato de amonio (sustancia inorgánica) — Urea (sustancia orgánica)

Como se observa en las fórmulas, los átomos que constituyen las moléculas son los mismos. Durante la síntesis de la urea ocurre un reagrupamiento interno que se conoce también como *cambio isomérico* (los **isómeros** son compuestos que tienen la misma composición química, pero el orden de los átomos en las moléculas de estos compuestos y, por ende, sus características físicas y químicas, son diferentes).

Después de Wöhler se han elaborado artificialmente infinidad de sustancias que, por costumbre, se les nombró orgánicas, pues se ha conservado la división de la química en orgánica e inorgánica.

1.1 La química orgánica

La importancia de la química orgánica se infiere al reflexionar sobre cómo sería el bienestar material del hombre en la actualidad sin alimentos, ropa, gas, fármacos, detergentes, cosméticos. A continuación se mencionan varios artículos que son de gran importancia para el hombre. La característica común a todos ellos es que están compuestos por carbono:

Fármacos

- tetraciclinas
- sulfas
- aspirina

Fibras textiles

- nailon
- terlenka
- acrilán
- orlón
- poliéster

Productos de limpieza e higiene

- jabones
- detergentes

¿Sabías que...?

La urea se forma en los riñones y se excreta a través de la orina, eliminando el exceso de nitrógeno del organismo.

La palabra y su raíz

isómero (griego) *isos* igual, *meros* parte.
Formado por las mismas partes.

Investiga

Investiga el nombre químico de la aspirina.







Figura 1.1 En todos estos productos está presente el carbono, así que el estudio de los materiales que los componen compete a la química orgánica.

Productos varios

- cloruro de polivinilo (PVC)
- caucho sintético
- papel
- gasolinas
- aceites
- colorantes sintéticos
- explosivos
- insecticidas
- lacas
- barnices
- pinturas
- cosméticos
- vitaminas
- grasas
- azúcares
- proteínas
- velcro (figura 1.2)

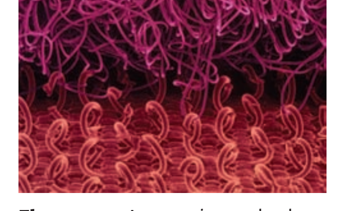


Figura 1.2 Acercamiento al velcro, material orgánico que se sintetiza en el laboratorio, usado para las cremalleras.

Sabiendo que todos los compuestos orgánicos contienen en sus moléculas átomos de carbono, la **química orgánica** se define como la parte de la química que se encarga del estudio de los compuestos del carbono. Por tal razón, a esta rama de la química se le conoce también con el nombre de *química del carbono*.

Si bien la división de la química en orgánica e inorgánica no tiene fundamentos teóricos, ya que los fenómenos químicos que se estudian en una y otra son los mismos, se conserva por convenir a la enseñanza y por una serie de características particulares de los compuestos del carbono.

Características de los compuestos orgánicos y de los compuestos inorgánicos

Todos los compuestos orgánicos contienen carbono en sus moléculas, a veces combinado sólo con hidrógeno y, en otras ocasiones, con oxígeno y nitrógeno (C, H, O, N). Estos cuatro elementos son los principales constituyentes de los seres vivos. También, pero con menor frecuencia, se puede encontrar azufre, fósforo, halógenos, arsénico, hierro, sodio, etcétera. (Algunos compuestos con carbono que pertenecen al campo de estudio de la química inorgánica son: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), carbonatos, carburos y cianuros metálicos.)

El número de compuestos que forma el carbono es muy grande, y aunque no existe una barrera entre los compuestos orgánicos e inorgánicos, estos últimos representan una cantidad mucho menor en relación con la totalidad de los compuestos químicos.

Las reglas de nomenclatura para los compuestos orgánicos, en general, son diferentes a las de los inorgánicos.

En los compuestos orgánicos, los átomos de carbono tienen la particularidad de unirse unos con otros para formar cadenas.

Los compuestos orgánicos son covalentes, por lo que:

- tienen bajo punto de fusión
- reaccionan en forma lenta
- no son buenos conductores de la corriente eléctrica
- la mayoría son combustibles
- generalmente no se disuelven en agua
- aunque no es exclusivo de estos compuestos, presentan la propiedad de isomería

Por su parte, de los compuestos inorgánicos se caracterizan por:

- tener puntos de fusión altos (a veces hasta de 1000 °C)
- conducir la electricidad
- no ser combustibles
- ser solubles en agua
- muchos compuestos inorgánicos son iónicos

Ejercicio

1.1 Con base en las características anteriores menciona diez compuestos orgánicos y diez compuestos inorgánicos comunes:

Compuestos orgánicos	Compuestos inorgánicos

Manos a la obra

Conductibilidad de diferentes compuestos

Entre las diferencias de los compuestos orgánicos e inorgánicos se menciona que la mayoría de compuestos orgánicos no conducen la corriente eléctrica, en tanto que los compuestos inorgánicos generalmente sí la conducen. Esto se debe al tipo de enlaces que forma el carbono.

Con la siguiente experiencia podrás inferir lo anterior.

Material

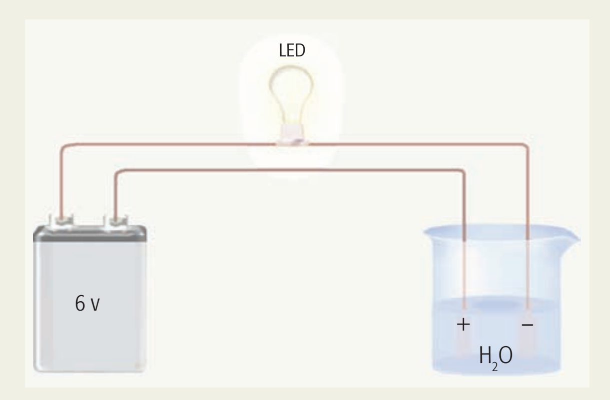
- 5 vasos de precipitados de 100 mL
- 1 pila de 6 voltios
- 2 alambres de 10 cm de cobre cubiertos, con 3 cm descubiertos en sus extremos
- 1 alambre de 20 cm de cobre cubierto, con 3 cm descubiertos en sus extremos
- 1 LED
- 2 electrodos de grafito (una mina de un lápiz sirve como electrodo) de 4 cm cada uno

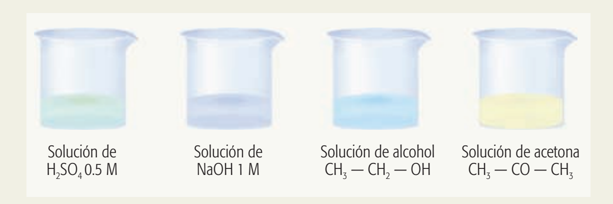
Sustancias

- 50 mL de solución de H_2SO_4 0.5 *M*
- 50 mL de solución de NaOH 1 *M*
- 50 mL de alcohol etílico
- 50 mL de acetona
- 50 mL de agua destilada

Procedimiento

1. Vierte cada una de las sustancias en diferentes vasos de precipitados.
2. Conecta un extremo del alambre de cobre de 10 cm al polo positivo de la pila y el otro extremo a una de las terminales del LED.
3. Une el extremo del otro alambre de cobre de 10 cm a la otra terminal del LED.
4. Conecta un extremo del alambre de cobre de 20 cm al polo negativo de la pila.
5. Une los extremos libres de los alambres de cobre a cada uno de los electros de grafito.
6. Introduce (procurando que no se toquen) los electrodos de grafito en el vaso que contiene el agua destilada.
7. Retira los electrodos e introdúcelos progresivamente en los cuatro vasos restantes, límpialos con agua destilada cada vez que los retires de un vaso.





1. ¿En qué sustancias se encendió el LED?

____

____

____

____

____

____

____

2. ¿En cuáles no se encendió?

____

____

____

____

____

____

____

____

La experiencia anterior indica que tanto el ácido sulfúrico (H_2SO_4), como el cloruro de sodio (NaCl) son **electrolitos,** es decir, permiten el paso de la corriente eléctrica. Esto se debe a que estos compuestos forman iones cuando están disueltos en agua.

El alcohol y la acetona, además del agua destilada, no conducen la electricidad, ya que sus moléculas no forman iones. Recuerda que además, entre otras propiedades, los compuestos iónicos presentan elevadas temperaturas de fusión y de ebullición, y que durante su formación se libera una gran cantidad de calor; mientras que los compuestos covalentes, además de no conducir la corriente eléctrica, tienen temperaturas de fusión y de ebullición, y calor de formación, más bajos que los de los compuestos iónicos.

La palabra y su raíz

Electrólisis: *electro* eléctrico, (griego) *lýsis* disolución. Descomposición de una sustancia en disolución mediante la corriente eléctrica.

Investiga

¿A qué se llama enlace covalente?

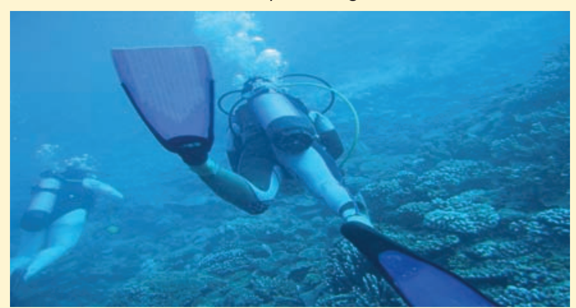
¿Sabías que...?

Los fertilizantes y pesticidas que se utilizan en los cultivos tienen compuestos con enlaces covalentes.

Lectura — Relación de la química orgánica con diversas profesiones

La mayoría de las profesiones relacionadas con la ciencia requieren, como herramienta, un conocimiento de la química, y muchas de ellas dependen del estudio de esta ciencia, en particular de la química orgánica.

Dentro de las profesiones relacionadas con las ciencias puras está la *biología*, que estudia los principios básicos de la vida. La *química*, que estudia pruebas cuantitativas y cualitativas para determinar la estructura y las propiedades de los materiales. La *oceanografía*, que estudia la física, química, geología y biología de los océanos. La *física*, que estudia la interacción entre la materia y la energía.



En el campo de la química está el *químico analítico*, que desarrolla y mejora los procedimientos para analizar la estructura y las propiedades de las sustancias. El *bioquímico*, que estudia el efecto de los alimentos, los fármacos, las hormonas en los procesos del cuerpo y en los sistemas vivientes. El *químico orgánico*, que estudia aquellas sustancias donde el carbono es el componente principal. Una persona que se dedique a la química orgánica puede especializarse en agricultura, alimentos, textiles y en un sinnúmero de campos. Y también está el *fisicoquímico*, el cual determina las propiedades físicas de las sustancias y otras relaciones que involucran materia y energía.



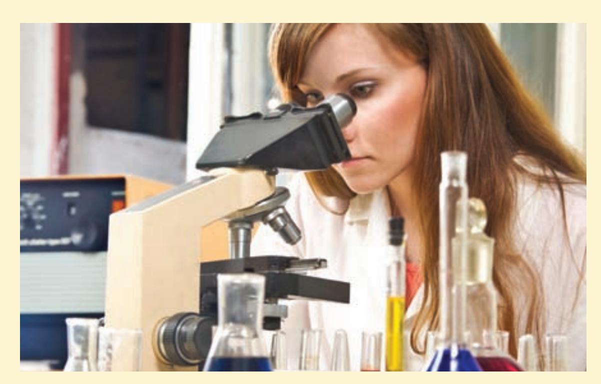
Dentro de las personas cuya profesión se relaciona con las ciencias aplicadas, se encuentran el *agrónomo*, que desarrolla nuevos métodos para el cultivo de las cosechas, con el fin de asegurar una producción más eficiente y de mayor calidad. El *ingeniero forestal*, que estudia el crecimiento y conservación de los árboles. El *horticultor*, que realiza investigaciones acerca de la crianza, la producción y el procesamiento de las frutas, los vegetales y las plantas decorativas.



En los campos de la ingeniería está el *ingeniero biomédico*, que diseña prótesis y desarrolla sistemas más eficientes para los hospitales. El *ingeniero químico*, que diseña los procesos de industrias de producción química. El *ingeniero ambiental*, que diseña y mantiene las estructuras industriales en todo lo relacionado con el medio ambiente. El *ingeniero petrolero*, que desarrolla los métodos más eficientes para procesar el petróleo y el gas natural.



Dentro del campo de las ciencias de la salud está el *dietista*, que prepara planes para las necesidades nutricionales de individuos y de grupos. El *médico*, que realiza pruebas cualitativas y cuantitativas para proveer información para el tratamiento de las enfermedades en toda su gama de especialidades: internista, neonatólogo, ginecólogo, otorrinolaringólogo, hematólogo, cardiólogo, urólogo, proctólogo, dentista, cirujano plástico, cirujano general, psiquiatra, dermatólogo, traumatólogo, fisioterapista, pues en todas estas especialidades se usan productos químicos curativos que los químicos farmacéuticos desarrollan en sus laboratorios. El *bioquímico*, que mediante la química realiza análisis de fluidos, de proteínas y análisis clínicos, bacterianos, de virus y de hongos. El *fitoquímico*, que se dedica al estudio de plantas medicinales, y sus posibles usos como fuente de materia prima para la industria farmacéutica. El *toxicólogo*, que estudia los efectos que producen en el ser humano, los animales y el medio ambiente, los diversos productos químicos que salen al mercado. El *químico forense*, que analiza las distintas pruebas recabadas en la escena de un crimen, para determinar las relaciones que dichas pruebas tienen con el suceso. El *químico farmacéutico*, que analiza, investiga y desarrolla nuevas fórmulas para productos farmacéuticos, cosméticos, veterinarios, agroquímicos, alimentos, etcétera. El *farmacólogo* o *farmacéutico*, que investiga la función, comportamiento y preparación de los fármacos. El *veterinario*, que diagnostica y trata las enfermedades que afectan a los animales.



Investiga

Investiga el campo específico en el que actúan todas las especialidades médicas mencionadas en la lectura.

1.2 El singular elemento carbono

Existen millones de compuestos orgánicos, cuyas moléculas contienen esencialmente átomos de carbono.

El carbono se distingue de los otros elementos por su capacidad para formar una multitud de compuestos. Esto se explica debido a que los átomos de carbono se pueden unir entre sí para formar *cadenas*, que pueden ser *lineales*, *ramificadas* o *cerradas*.

Además, el carbono se puede unir fuertemente con otros elementos como hidrógeno, oxígeno y nitrógeno mediante enlaces sencillos, dobles o triples.

Estructura electrónica

La gran cantidad de compuestos que puede formar el carbono se explica por su estructura electrónica. Su configuración electrónica es:

$$1s^2\ 2s^2\ 2p^2$$

Al partir de esta configuración, su diagrama orbital es:

↑↓	↑↓	↑	↑	
$1s$	$2s$	$2p_x$	$2p_y$	$2p_z$

Los electrones del orbital $1s$ se encuentran apareados con espín contrario; es decir, que el primer nivel de energía está lleno. En el segundo nivel ($n = 2$) hay cuatro electrones: dos en el orbital $2s$, que también está lleno y los otros dos en el subnivel p, pero no se encuentran apareados.

El problema se ocasiona si sólo se consideran los 2 electrones desapareados de los orbitales p, puesto que eso sólo explicaría una valencia divalente para el carbono, y se sabe que el carbono es tetravalente, con excepción del CO.

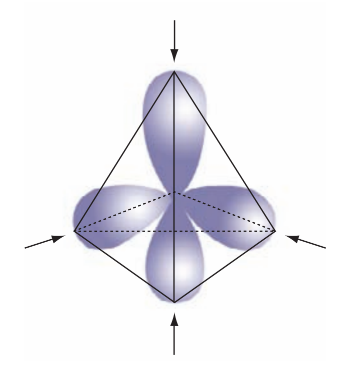
Por ejemplo, en el metano, de fórmula CH_4, la tetravalencia del carbono se explica de la siguiente forma:

Un electrón del orbital 2*s* se promueve a un orbital 2*p* que está vacío.

↑↓	↑↓	↑	↑	↑
$1s$	$2s$	$2p_x$	$2p_y$	$2p_z$

Aunque ya se tienen cuatro orbitales semillenos, cada uno capaz de formar un nuevo enlace, no son equivalentes (uno es un orbital s y tres son orbitales p). Para que los cuatro orbitales semillenos sean equivalentes se propone una hibridación, que consiste en mezclar estos orbitales ($2s$, $2p_x$, $2p_y$, $2p_z$) para obtener cuatro nuevos orbitales iguales entre sí. Esta **hibridación** se indica como ***sp*³** ya que los cuatro electrones provienen de la hibridación (mezcla) de un orbital s y tres orbitales p.

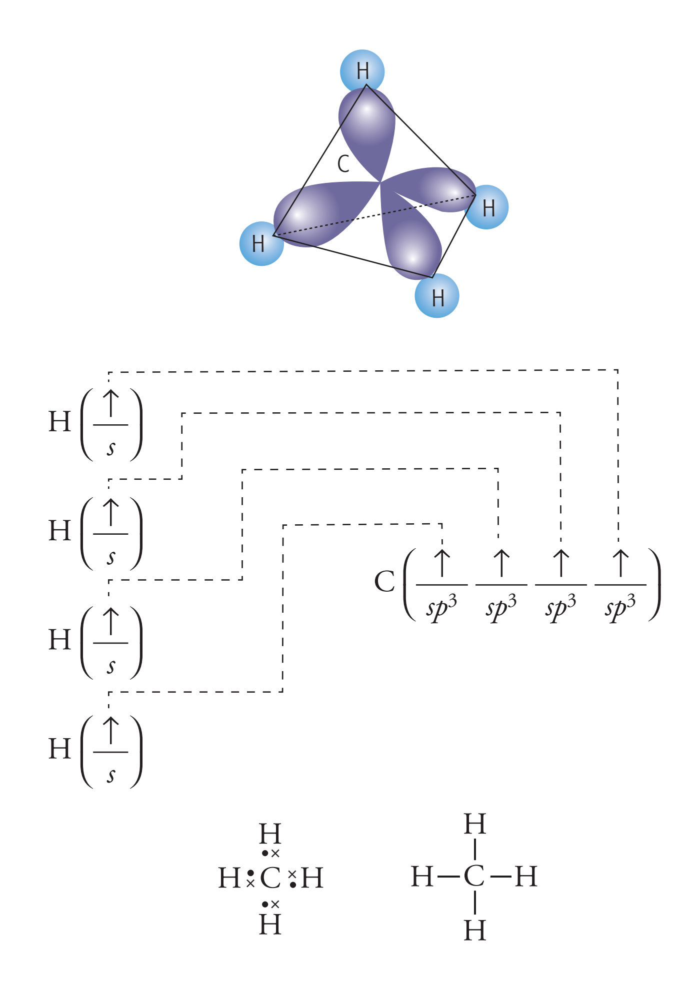
Los cuatro electrones de estos orbitales híbridos (sp^3) dan las cuatro valencias del carbono, las que se dirigen a los cuatro vértices de un tetraedro:



Por comodidad, los cuatro enlaces que forma el carbono se indican de la siguiente forma:

```
  |
—C—
  |
```

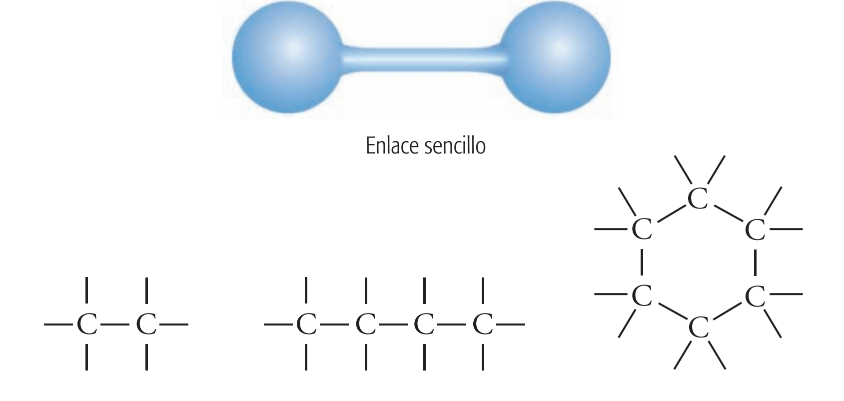
En el caso del metano (CH_4), se unen cada uno de los cuatro electrones sp^3 del carbono con el electrón del orbital s de cada uno de los cuatro átomos de hidrógeno, como se muestra a continuación:



Enlaces sigma (σ) y pi (π)

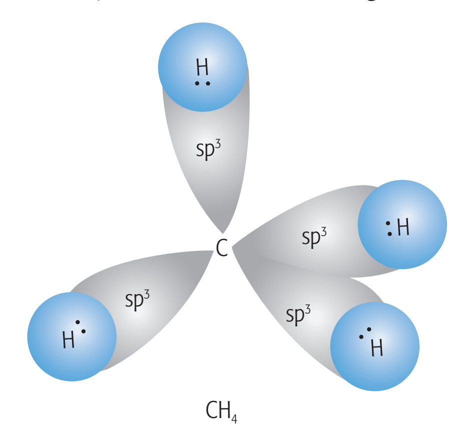
El orbital molecular formado por el par de electrones de los orbitales *s* y sp^3 se denomina enlace sigma (σ).

Ahora bien, el átomo de carbono tiene la propiedad de unirse a otro átomo de carbono y formar cadenas abiertas o cerradas mediante enlaces sencillos. Esto indica uniones entre un orbital atómico sp^3 y otro orbital sp^3; esta unión también se llama *enlace sigma* (σ).



Cualquier enlace sencillo entre dos átomos es un enlace sigma.

En el metano (CH_4) hay cuatro enlaces sigma, cada uno está formado por un orbital híbrido sp^3 del carbono y un orbital s del hidrógeno:

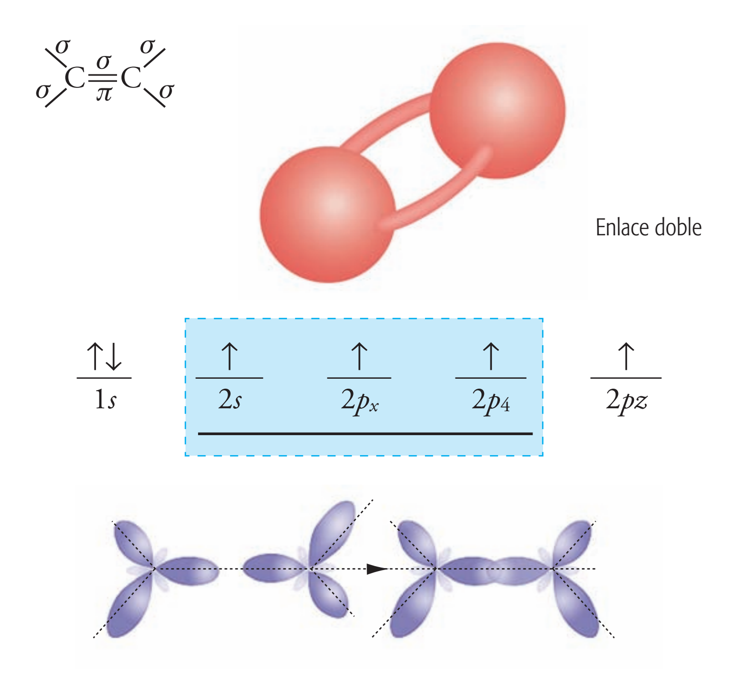


Además, los átomos de carbono pueden unirse mediante enlaces dobles o triples, como se muestra en la figura 1.3.

Enlace sencillo — Enlace doble — Enlace triple

Figura 1.3 Tipos de enlaces entre los átomos de carbono.

Cuando los átomos de carbono se unen mediante un enlace doble, la hibridación es sp^2: hay tres orbitales híbridos sp^2, cada uno con un electrón, que se formaron por la combinación de un orbital s y tres orbitales p.



En el caso del eteno (C_2H_4), la unión entre un orbital sp^2 y otro orbital sp^2 de los dos átomos de carbono forma un enlace sigma (σ), al igual que la unión entre un orbital sp^2 y un orbital s del hidrógeno.

El otro enlace que proviene de los dos electrones que hay en las orientaciones p_z, se denomina **enlace pi** (π).

H, H, C=C, H, H

C ($\uparrow\downarrow$ sp^2, $\uparrow\downarrow$ sp^2, $\uparrow\downarrow$ sp^2, $\uparrow$ p_z)   C ($\uparrow$ sp^2, $\uparrow\downarrow$ sp^2, $\uparrow\downarrow$ sp^2, $\uparrow\downarrow$ p_z)

H ($\uparrow$ s)   H ($\uparrow$ s)

H ($\uparrow$ s)   H ($\uparrow$ s)

H:C::C:H (con H sobre cada C)

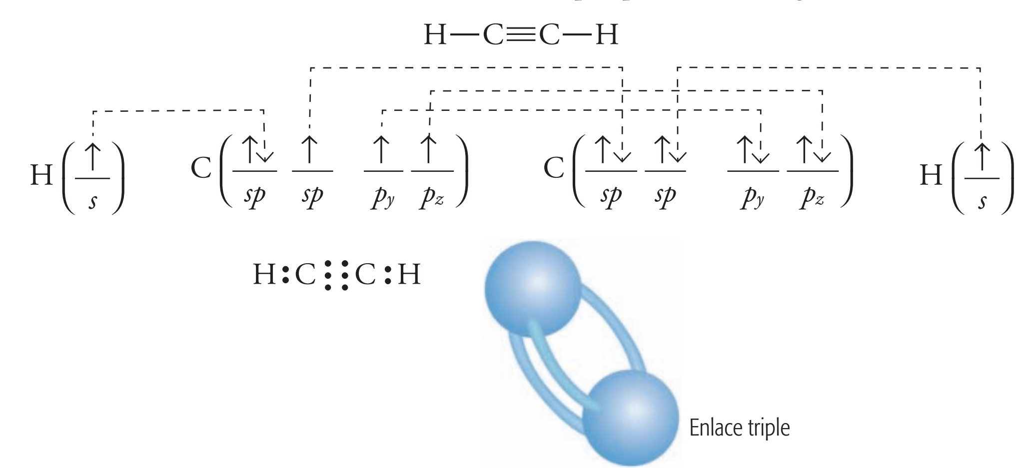
Cuando la unión entre dos átomos de carbono se da mediante un triple enlace, la hibridación de los orbitales atómicos es sp. En este tipo de hibridación se combina un orbital s y un orbital p para formar dos orbitales híbridos sp.

$\uparrow\downarrow$	$\uparrow$	$\uparrow$	$\uparrow$	$\uparrow$
$1s$	$2s$	$2p_x$	$2p_y$	$2p_z$

En el caso del etino (C_2H_2), la unión entre carbono y carbono con orbitales sp es sigma (σ), igual que la formada entre el orbital sp del carbono y el orbital s del hidrógeno.

σ C $\overset{\sigma}{\equiv}$ C σ
2 enlaces π

Ahora bien, para formar los otros dos enlaces entre carbono y carbono intervienen los electrones libres que hay en las orientaciones p_y y p_z, lo que da lugar a enlaces pi (π).



Concatenación

El hecho de que los carbonos se puedan unir entre sí formando cadenas, se llama *concatenación*. Estas cadenas pueden ser abiertas en forma lineal o tener ramificaciones.

Además, el primer carbono de una cadena se puede unir con cualquier otro de la cadena para dar lugar a una cadena cerrada o ciclo.

1.3 Clasificación de los compuestos orgánicos de acuerdo con su esqueleto de carbono

De acuerdo con la cadena que forman los átomos de carbono, ya sea abierta o cerrada, los compuestos orgánicos se clasifican en dos grandes grupos: acíclicos y cíclicos.

Los compuestos **acíclicos** (de cadena abierta) también se conocen como *alifáticos*, ya que comprenden las grasas (figura 1.4).

Los compuestos **cíclicos** (de cadena cerrada), se subdividen en dos grupos: *isocíclicos* y *heterocíclicos* (figura 1.5).

Los isocíclicos son aquellos en los que el ciclo está formado solamente por átomos de carbono; estos compuestos se dividen, a su vez, en alicíclicos y aromáticos. Los alicíclicos son compuestos de cadena cerrada (cíclicos) que por su estructura tienen propiedades semejantes a los de cadena abierta (acíclicos). Los aromáticos se relacionan con el benceno* y deben su nombre a que muchos de ellos tienen olores fuertes.

* El benceno es un compuesto formado por seis átomos de carbono que forman un ciclo y en donde hay tres enlaces dobles alternados entre sí.

Los compuestos heterocíclicos son aquellos en los que, por lo menos, uno de los átomos de carbono que forman los ciclos se encuentra sustituido por otro elemento, generalmente oxígeno (O), azufre (S) o nitrógeno (N).

La clasificación de los compuestos orgánicos se puede apreciar en las figuras 1.4 y 1.5.

Acíclicos o alifáticos

$CH_3{-}CH_2{-}CH_3$

$CH_3{-}CH(CH_3){-}CH_2{-}OH$

$CH_3{-}CH(CH_3){-}CH(Cl){-}CH_3$

Figura 1.4 Compuestos orgánicos acíclicos.

Cíclicos

- Isocíclicos
  - Alicíclicos
  - Aromáticos
- Heterocíclicos

Figura 1.5 Clasificación de los compuestos orgánicos cíclicos.

Palabras clave

acíclico, 15
concatenación, 15
electrolitos, 9
enlace pi (π), 14
enlace sigma (σ), 12
hibridación, 11
isomería, 7
orbitales híbridos, 11
química orgánica, 5

Lo que aprendí

1. ¿Cuál fue la primera sustancia orgánica obtenida a partir de una sustancia inorgánica?

____

____

2. ¿Qué se entiende por reagrupamiento interno?

____

____

____

3. ¿Qué son los isómeros?

____

____

____

4. ¿Cuál es el elemento que se encuentra en todos los compuestos orgánicos?

____

5. *a*) Escribe una definición de química orgánica.

____

____

b) ¿Con qué otro nombre se le conoce a la química orgánica?

____

____

6. Menciona otros elementos comunes en los compuestos orgánicos.

____

____

____

7. En forma de tabla, escribe cinco diferencias entre los compuestos orgánicos y los inorgánicos.

Compuestos orgánicos	Compuestos inorgánicos

8. El cloruro de sodio (NaCl) se funde a una temperatura de 801 °C, mientras que el pentano (C_5H_{12}) lo hace a –129 °C; el primero es soluble en agua, en cambio el segundo no se disuelve en esta sustancia. ¿Cuál de los dos compuestos es orgánico?

____

____

9. Escribe un uso de cada uno de los siguientes compuestos orgánicos:

Butano ______________________________

Teflón ______________________________

Poliéster ______________________________

Polietileno ______________________________

Aspirina ______________________________

10. Investiga en tu entorno familiar o social a tres personas con profesiones diferentes que apliquen conocimientos de la química orgánica. En pocas palabras solicítales y escribe específicamente cuáles conocimientos requieren y en qué forma los aplican en el ejercicio de sus profesiones.

a) ______________________________

____

b) ______________________________

____

c) ______________________________

____

11. Explica, con tus propias palabras, la hibridación sp^3.

12. ¿Cómo se explica la tetravalencia del carbono?

13. ¿A qué se llama concatenación?

14. ¿Cómo se forma el enlace sigma (σ)?

15. ¿Cómo se forma el enlace pi (π)?

16. ¿A cuáles compuestos se les llama heterocíclicos?

17. ¿Cuáles son las características de los compuestos isocíclicos?

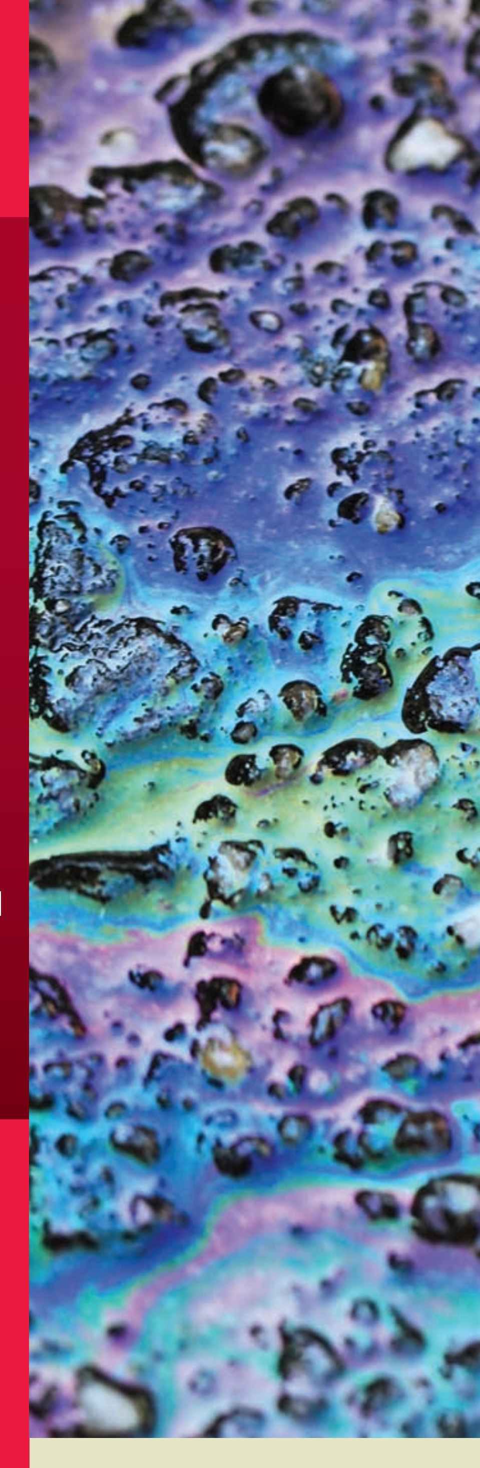
18. ¿Con cuál sustancia se relacionan los compuestos aromáticos y a qué característica deben su nombre?

19. Representa las cadenas abiertas lineales que se forman con 3, 5 y 7 átomos de carbono unidos con enlaces sencillos.

20. Con enlaces sencillos representa cadenas lineales con ramificaciones que contengan 4 y 5 átomos de carbono.

Unidad 2

Hidrocarburos



Los hidrocarburos son compuestos que sólo contienen hidrógeno y carbono. Son los componentes principales del petróleo y de los gases naturales.

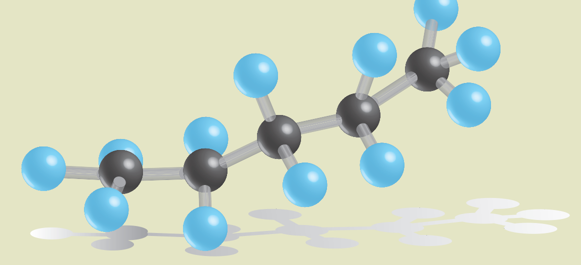
Si has observado el espectro de colores de una mancha sobre el pavimento, debes saber que es contaminación producida por pequeñas cantidades de gasolina o aceite que gotean de los automóviles.

Sobrepuesta a la imagen de la mancha aparece una molécula del pentano, uno de los compuestos presentes en la gasolina.

Contenido

Objetivo de la unidad

Al concluir la unidad el alumno conocerá la clasificación de los hidrocarburos, la estructura, la nomenclatura de la IUPAC* y las propiedades de los hidrocarburos saturados e insaturados.



Pentano

* IUPAC, International Union of Pure Applicated Chemistry (Unión Internacional de Química Pura y Aplicada).

¿Cuánto sabes?

1. De acuerdo con el análisis de la palabra hidrocarburo, ¿qué elementos forman este compuesto?
2. Cuando los átomos de carbono se unen mediante un enlace doble, ¿cuáles son los orbitales moleculares que se forman?
3. ¿En qué objetos se emplea la parafina?
4. ¿Qué representan las estructuras de Lewis?
5. ¿A qué se le llama petróleo crudo?
6. ¿Qué es un oleoducto?
7. ¿Qué número se indica con el prefijo *penta-*?
8. Si $n = 3$, ¿cuál es el valor numérico de la expresión $2n - 2$?
9. ¿Qué gas contienen los encendedores desechables?
10. ¿Cuál es la valencia del átomo de carbono?

Mapa conceptual Unidad 2.1

Introducción

El carbono es el único átomo que se puede unir con otros átomos de carbono para formar cadenas lineales, ramificadas o en forma de anillo; esto hace posible la existencia de una variedad de compuestos casi infinita.

Los **hidrocarburos** son compuestos orgánicos cuyas moléculas presentan diferencias estructurales, las cuales determinan sus propiedades físicas y químicas. En esta unidad estudiarás este tipo de compuestos.

Manos a la obra — Constituyentes de los hidrocarburos

Material

- 3 tubos de ensayo
- 2 tubos de vidrio de 15 cm cada uno (uno doblado en un ángulo recto a 5 cm de un extremo)
- 1 tapón monohoradado para el tubo de ensayo que contenga la parafina, con un tubo de vidrio de desprendimiento de 15 cm doblado en ángulo recto a 5 cm
- 1 mechero o lámpara de alcohol
- 2 pinzas para tubo de ensayo



Sustancias

- 20 mL de solución de hidróxido de calcio [$Ca(OH)_2$] al 20%
- mezcla de 10 g de parafina y 5 g de óxido de cobre(II) (CuO)

Procedimiento

1. Coloca 10 mL de solución de hidróxido de calcio [$Ca(OH)_2$] en un tubo de ensayo y los otros 10 mL en otro tubo, hasta la tercera parte; agregar los 10 g de la mezcla de parafina y los 5 g de óxido de cobre(II) (CuO) en otro tubo de ensayo.
2. Haz una inspiración profunda y aguanta la respiración unos cuantos segundos. Luego expele a través del tubo de vidrio recto lentamente el aire de tus pulmones, burbujeándolo en uno de los tubos de ensayo con $Ca(OH)_2$.

   a) ¿Qué color adquiere esta solución?

   ____

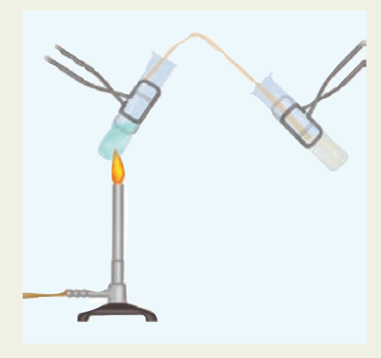
   b) ¿Qué gas se expele fundamentalmente durante el proceso respiratorio?

   ____

El dióxido de carbono (CO_2) reaccionó con el hidróxido de calcio [$Ca(OH)_2$] contenido en el tubo de ensayo, lo que produjo el precipitado blanco, el cual es carbonato de calcio ($CaCO_3$). De acuerdo con la siguiente ecuación:

$$CO_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$$

3. Toma el tapón que tiene el tubo de desprendimiento y tapa el tubo de ensayo que contiene la mezcla de parafina y el óxido de cobre(II), caliéntalo, luego burbujea el gas que se desprende en el segundo tubo de ensayo que tiene el $Ca(OH)_2$, como se observa en la figura.



   a) ¿Qué aspecto toma el líquido?

   ____

   b) ¿Qué sustancia se formó?

   ____

   c) Esto demuestra que el gas que se desprende es:

   ____

d) De las sustancias contenidas en el tubo (parafina y óxido de cobre(II), ¿cuál proporciona el oxígeno para que se forme el dióxido de carbono (CO_2)?

____

e) ¿Cuál proporciona el carbono?

____

f) Observa la parte superior del tubo que calentaste. ¿Qué se formó?

____

g) Para formar agua, el oxígeno se desprende del óxido de cobre(II). ¿Qué sustancia proporciona el hidrógeno?

____

h) En conclusión, la parafina es un compuesto formado por _______________ y _______________.

Las reacciones anteriores se pueden representar de la siguiente forma:

$$\text{parafina} + CuO \rightarrow CO_2 + H_2O + Cu$$

Concepto de hidrocarburo

La parafina es un hidrocarburo. Los **hidrocarburos** son compuestos formados únicamente por hidrógeno y carbono.

En los hidrocarburos, los átomos de carbono satisfacen su tetravalencia formando enlaces con átomos de hidrógeno, o bien con otros átomos de carbono, al formar cadenas o anillos.

La unión carbono-carbono puede ser sencilla, doble o triple (figura 2.1).

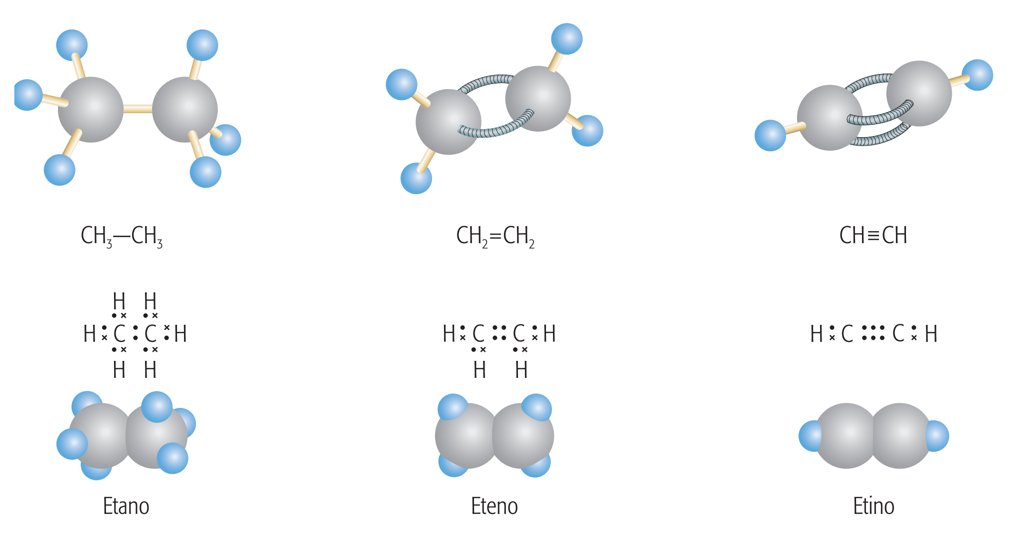


Figura 2.1 *Enlaces sencillos, dobles y triples* Dos átomos de carbono pueden compartir uno, dos o tres pares de electrones. En los hidrocarburos saturados, los átomos de carbono sólo comparten un par de electrones, mientras que en los insaturados, que contienen enlaces dobles o triples, comparten dos o tres pares. Como un átomo de carbono tiene cuatro enlaces, los hidrocarburos insaturados contienen un número menor de átomos de hidrógeno.

¿Sabías que...?

Los términos *saturado* e *insaturado* se originaron antes de que los químicos entendieran la estructura de las sustancias orgánicas. Sabían que algunos hidrocarburos absorbían hidrógeno en presencia de un catalizador. Se decía que la sustancia estaba saturada cuando no reaccionaba con más hidrógeno. Actualmente se sabe que los hidrocarburos insaturados contienen enlaces dobles y triples, y que reaccionan con hidrógeno para formar enlaces sencillos.

Los hidrocarburos son **saturados** cuando todos los átomos de carbono son sencillos, e **insaturados** o **no saturados** cuando hay al menos un enlace doble o triple. Los saturados no admiten más átomos de hidrógeno, mientras que los insaturados sí lo hacen.

Tipos de fórmulas

En química orgánica se usan varios tipos de fórmulas: *a*) *desarrolladas*, *b*) *semidesarrolladas*, y *c*) *condensadas* o *moleculares*.

Las **fórmulas desarrolladas** indican en un plano la estructura de la molécula. Además representan el modo de agrupación de todos los átomos que las forman, y los enlaces se señalan con guiones, como se muestra a continuación:

$$\begin{array}{ccccc} & & H & & \\ & & | & & \\ H & - & C & - & H \\ & & | & & \\ & & H & & \end{array} \qquad \begin{array}{ccccccc} & & H & & H & & \\ & & | & & | & & \\ H & - & C & - & C & - & H \\ & & | & & | & & \\ & & H & & H & & \end{array} \qquad \begin{array}{ccccccccc} & & H & & H & & H & & \\ & & | & & | & & | & & \\ H & - & C & - & C & - & C & - & H \\ & & | & & | & & | & & \\ & & H & & H & & H & & \end{array}$$

En las **fórmulas semidesarrolladas**, cada átomo de carbono y sus átomos de hidrógeno se escriben en forma de grupo, añadiendo subíndices al hidrógeno para indicar el número de átomos de este elemento que se unen con cada carbono.

Así, los enlaces C—H se sobreentienden. Se emplean guiones para representar los enlaces C—C aunque pueden omitirse, por ejemplo:

$$\begin{array}{ccccccccccc} & & H & & H & & H & & H & & \\ & & | & & | & & | & & | & & \\ H & - & C & - & C & - & C & - & C & - & H \\ & & | & & | & & | & & | & & \\ & & H & & H & & H & & H & & \end{array}$$

Fórmula desarrollada

$$CH_3—CH_2—CH_2—CH_3 \quad \text{o} \quad CH_3CH_2CH_2CH_3$$

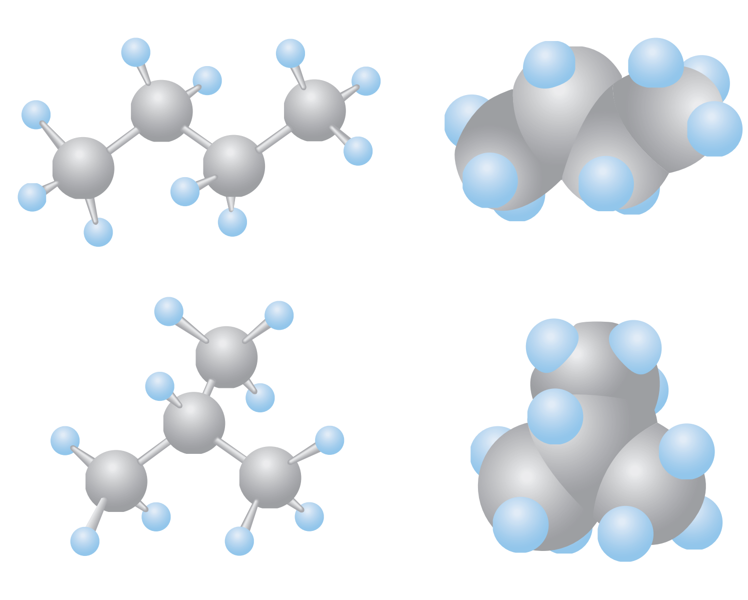
Fórmula semidesarrollada

Tanto en las **fórmulas desarrolladas** como en las semidesarrolladas se señala el ordenamiento de los átomos de carbono en la molécula.

Las **fórmulas moleculares** o **condensadas** muestran sólo el número total de átomos de cada elemento que hay en la molécula, utilizando subíndices. Observa el siguiente ejemplo:

$$C_3H_8$$

Las moléculas también pueden representarse mediante el modelo de esferas y barras, o bien, mediante el modelo de espacio lleno.



Modelo de esferas y barras   Modelo de espacio lleno

Ejercicio

2.1 Escribe en los espacios vacíos la fórmula de los siguientes alcanos según se indica en el encabezado.

Fórmula desarrollada	Fórmula semidesarrollada	Fórmula condensada o molecular
$H-\overset{H}{\underset{H}{\overset{\vert}{\underset{\vert}{C}}}}-H$	CH_4	
	CH_3-CH_3	C_2H_6
$H-\overset{H}{\underset{H}{\overset{\vert}{\underset{\vert}{C}}}}-\overset{H}{\underset{H}{\overset{\vert}{\underset{\vert}{C}}}}-\overset{H}{\underset{H}{\overset{\vert}{\underset{\vert}{C}}}}-H$		C_3H_8
$H-\overset{H}{\underset{H}{\overset{\vert}{\underset{\vert}{C}}}}-\overset{H}{\underset{H}{\overset{\vert}{\underset{\vert}{C}}}}-\overset{H}{\underset{H}{\overset{\vert}{\underset{\vert}{C}}}}-\overset{H}{\underset{H}{\overset{\vert}{\underset{\vert}{C}}}}-H$	$CH_3-CH_2-CH_2-CH_3$	
	$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$	C_5C_{12}

2.1 Alcanos

Los átomos de carbono que forman las moléculas de los hidrocarburos saturados de cadena lineal están unidos mediante enlaces sencillos y reciben el nombre de **alcanos**.

Se les llama **normales**, ya que la cadena que forman los átomos de carbono es lineal y no tiene ramificaciones:

$$H-\overset{H}{\underset{H}{\overset{\vert}{\underset{\vert}{C}}}}-\overset{H}{\underset{H}{\overset{\vert}{\underset{\vert}{C}}}}-\overset{H}{\underset{H}{\overset{\vert}{\underset{\vert}{C}}}}-\overset{H}{\underset{H}{\overset{\vert}{\underset{\vert}{C}}}}-\overset{H}{\underset{H}{\overset{\vert}{\underset{\vert}{C}}}}-H \qquad H-\overset{H}{\underset{H}{\overset{\vert}{\underset{\vert}{C}}}}-\overset{H}{\underset{H}{\overset{\vert}{\underset{\vert}{C}}}}-\overset{H}{\underset{H}{\overset{\vert}{\underset{\vert}{C}}}}-H$$

Las estructuras anteriores reciben el nombre de *fórmulas de Kekulé* en honor al químico alemán August Kekulé, quien en 1859, mucho antes de que se conociera que el átomo estaba formado por un núcleo positivo, que contiene a los protones y

neutrones, rodeado de electrones negativos, dedujo que en los hidrocarburos el átomo de carbono debía ser tetravalente y que se une a los otros elementos con cuatro enlaces químicos, representados por líneas.

Estructura molecular y nomenclatura de los alcanos

En 1916, Gilbert Lewis introdujo el concepto del enlace electrónico, formado por un proceso que consiste en compartir electrones. En las estructuras de Lewis, los electrones se indican con puntos o cruces alrededor del *kernel.**

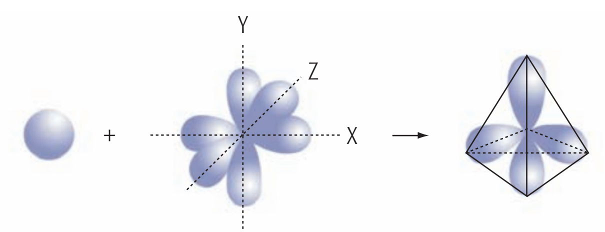
·Ċ·   Ḣ

Los siguientes son alcanos representados con estructuras de Lewis:

```
   H           H  H  H
H:C:H       H:C:C:C:H
   H           H  H  H
```

Las fórmulas de Lewis indican el mismo concepto estructural que las fórmulas de Kekulé, y cada enlace de Kekulé puede ser definido como un par de electrones compartidos.

Recuerda que los electrones de los orbitales híbridos sp^3 explican la tetravalencia del carbono, es decir, porqué el carbono puede unirse con otros cuatro átomos.



Cuando el átomo de carbono se une con el hidrógeno, cada uno de los orbitales híbridos sp^3 del carbono y el orbital *s* del hidrógeno forman un enlace sigma (σ). También se forma un enlace sigma al unirse un carbono con otro carbono mediante un enlace sencillo, esto es, se une un orbital sp^3 de un carbono con otro orbital sp^3 de otro átomo de carbono.

Con lo anterior, se puede deducir que las moléculas de los alcanos, y en general las de los compuestos orgánicos, son tridimensionales, pues los átomos de carbono se unen formando ángulos (figura 2.2), por lo que la cadena que crean es lineal pero no tiene que ser recta (por comodidad se representan en forma recta y necesariamente bidimensionales, ya que se escriben sobre un plano).

Ya se mencionó que los alcanos son hidrocarburos saturados, pues la tetravalencia del carbono se satisface con hidrógenos u otros átomos de carbono y no absorben ni

* Representación del núcleo y todos los niveles energéticos, excepto el nivel que contiene los electrones de valencia, utilizando el símbolo del elemento.

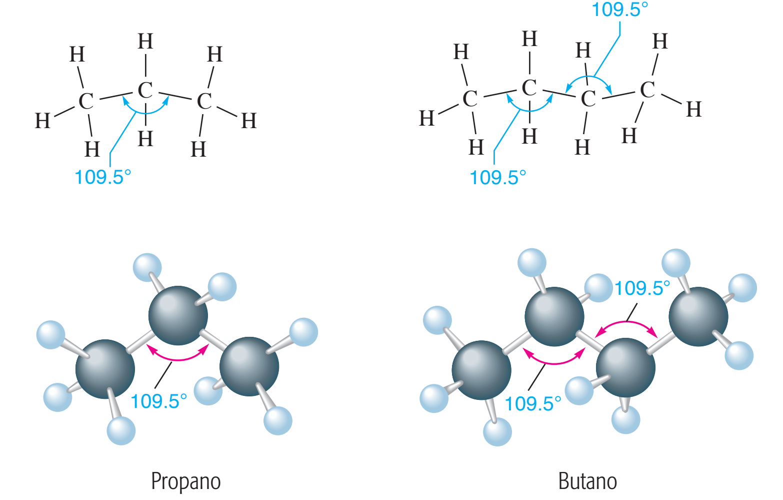


Figura 2.2 Estructura molecular del propano y el butano.

La palabra y su raíz

parafina (latín) *parum* poca, *affinis* afinidad. Poca afinidad.

adicionan otros elementos. Debido a esto no son activos químicamente y, por ello, también se les llama **parafinas**.

Para nombrar los compuestos orgánicos se siguen las reglas emitidas por la IUPAC. Para los hidrocarburos se usan los prefijos numéricos del siguiente cuadro, según el número de átomos de carbono que forman sus moléculas.

Cuadro 2.1 Prefijos numéricos.

Prefijo	Número de átomos de carbono	Prefijo	Número de átomos de carbono
Met–	1	Tridec–	13
Et–	2	Tetradec–	14
Prop–	3	Pentadec–	15
But–	4	Hexadec–	16
Pent–	5	Heptadec–	17
Hex–	6	Octadec–	18
Hept–	7	Nonadec–	19
Oct–	8	Eicos–	20
Non–	9	Uneicos–	21
Dec–	10	Triacont–	30
Undec–	11	Tetracont–	40
Dodec–	12	Pentacont–	50

Así, los primeros cinco alcanos se llaman:

Fórmula semidesarrollada	**Nombre**
CH_4	Metano
$CH_3—CH_3$	Etano
$CH_3—CH_2—CH_3$	Propano
$CH_3—CH_2—CH_2—CH_3$	Butano
$CH_3—CH_2—CH_2—CH_2—CH_3$	Pentano

A los alcanos se añade, al prefijo numérico, la terminación *-ano*.

Ejercicios

2.2 Escribe la fórmula molecular de los siguientes alcanos:

Nombre	Fórmula molecular
a) Metano	______________________
b) Etano	______________________
c) Propano	______________________
d) Butano	______________________
e) Pentano	______________________

2.3 Si observas estas fórmulas moleculares podrás apreciar que al pasar de un alcano al siguiente, los átomos de carbono aumentan de uno en uno y los de hidrógeno de ______________ en ______________________.

2.4 ¿Qué relación existe entre el número de átomos de hidrógeno y el número de átomos de carbono en cada fórmula?

____

2.5 Si se representa con *n* el número de átomos de carbono, ¿cómo se representaría el número de átomos de hidrógeno?

____

La fórmula general de los alcanos es la siguiente:

$$C_nH_{2n+2}$$

donde *n* es el número de átomos de carbono.

2.6 Escribe el nombre y, con base en la fórmula general, la fórmula molecular de los alcanos con 6, 7, 8, 9 y 10 átomos de carbono, y en la tercera columna anota la fórmula semidesarrollada.

Nombre	Fórmula molecular	Fórmula semidesarrollada
Hexano	C_6H_{14}	$CH_3—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_3$



Figura 2.3 *Productoras de metano* Las termitas son una fuente natural de metano. Se calcula que estos insectos producen al año 170 millones de toneladas de este hidrocarburo.

Radicales alquilo

Las fórmulas desarrolladas de los primeros cinco alcanos son:

a)
```
    H
    |
H — C — H
    |
    H
```
Metano

b)
```
    H   H
    |   |
H — C — C — H
    |   |
    H   H
```
Etano

c)
$$\begin{array}{ccccccc} & H & & H & & H & \\ & | & & | & & | & \\ H- & C & - & C & - & C & -H \\ & | & & | & & | & \\ & H & & H & & H & \end{array}$$
Propano

d)
$$\begin{array}{ccccccccc} & H & & H & & H & & H & \\ & | & & | & & | & & | & \\ H- & C & - & C & - & C & - & C & -H \\ & | & & | & & | & & | & \\ & H & & H & & H & & H & \end{array}$$
Butano

e)
$$\begin{array}{ccccccccccc} & H & & H & & H & & H & & H & \\ & | & & | & & | & & | & & | & \\ H- & C & - & C & - & C & - & C & - & C & -H \\ & | & & | & & | & & | & & | & \\ & H & & H & & H & & H & & H & \end{array}$$
Pentano

Ejercicio

2.7 Escribe las fórmulas anteriores, pero elimina en cada una un átomo de hidrógeno de uno de los carbonos de un extremo, tal como se muestra en el ejemplo:

a)
$$\begin{array}{ccc} & H & \\ & | & \\ H- & C & - \\ & | & \\ & H & \end{array}$$

b)

c)

d)

e)

Cada uno de los grupos de átomos anteriores tiene una valencia libre, por ello se les llama **radicales**.

Los radicales que proceden de los alcanos se conocen como **radicales alquilo,** y para nombrarlos se sustituye la terminación *-ano* por *-ilo* cuando se encuentran en forma aislada o *-il* cuando se utilizan como sustituyente para asignar el nombre a un compuesto.

CH_3- Metilo

$$\begin{array}{ccccccc} CH_3 & - & CH & - & CH_2 & - & CH_3 \\ & & | & & & & \\ & & CH_3 & & & & \end{array}$$
Metil

CH_3-CH_2- Etilo

etcétera...

Ejercicio

2.8 Escribe las fórmulas semidesarrolladas y los nombres de los radicales alquilo para los alcanos que tienen tres, cuatro y cinco átomos de carbono. (No olvides escribir el guión que representa la valencia libre.)

Los radicales se representan, en general, con la letra *R*. Otros radicales de uso común son:

$$CH_3-\underset{}{\overset{\displaystyle CH_3\atop|}{CH}}-$$ Isopropilo

$$CH_3-CH_2-\overset{\displaystyle CH_3\atop|}{CH}-$$ Secbutilo

$$CH_3-\underset{\displaystyle |\atop CH_3}{\overset{\displaystyle CH_3\atop|}{C}}-$$ Terbutilo

$$CH_3-\underset{\displaystyle |\atop CH_3}{CH}-CH_2-$$ Isobutilo

Alcanos de cadena ramificada. Isomería estructural

Observa las fórmulas desarrollada y semidesarrollada que se presentan a continuación:

$$H-\underset{\displaystyle |\atop H}{\overset{\displaystyle H\atop|}{C}}-\underset{\displaystyle |\atop H}{\overset{\displaystyle H\atop|}{C}}-\underset{\displaystyle |\atop H}{\overset{\displaystyle H\atop|}{C}}-\underset{\displaystyle |\atop H}{\overset{\displaystyle H\atop|}{C}}-H \qquad CH_3-CH_2-CH_2-CH_3$$

Fórmula desarrollada | Fórmula semidesarrollada

a) ¿Cuál es el nombre del compuesto que representan?

Si de estas fórmulas se elimina un átomo de hidrógeno de un carbono de en medio:

$$H-\underset{\displaystyle |\atop H}{\overset{\displaystyle H\atop|}{C}}-\underset{\displaystyle |\atop H}{\overset{\displaystyle H\atop|}{C}}-\underset{\displaystyle |}{\overset{\displaystyle H\atop|}{C}}-\underset{\displaystyle |\atop H}{\overset{\displaystyle H\atop|}{C}}-H \qquad CH_3-CH_2-\underset{\displaystyle |}{CH}-CH_3$$

Fórmula desarrollada | Fórmula semidesarrollada

En la valencia libre que queda se podría agregar un radical metilo, como se muestra en seguida:

$$\begin{array}{ccccccccc} & & H & & H & & H & & H & & \\ & & | & & | & & | & & | & & \\ H & - & C & - & C & - & C & - & C & - & H \\ & & | & & | & & | & & | & & \\ & & H & & H & & | & & H & & \\ & & & & H & - & C & - & H & & \\ & & & & & & | & & & & \\ & & & & & & H & & & & \end{array}$$

Fórmula desarrollada

$$\begin{array}{ccccccc} CH_3 & - & CH_2 & - & CH & - & CH_3 \\ & & & & | & & \\ & & & & CH_3 & & \end{array}$$

Fórmula semidesarrollada

Esta fórmula representa a un alcano de cadena ramificada; este tipo de alcanos se distingue de los de cadena lineal debido a que la cadena principal de átomos de carbono presenta ramificaciones que son radicales alquilo. Observa los siguientes ejemplos:

$$\begin{array}{ccccc} CH_3 & - & CH & - & CH_3 \\ & & | & & \\ & & CH_3 & & \end{array}$$

$$\begin{array}{ccccccccc} CH_3 & - & CH_2 & - & CH & - & CH & - & CH_3 \\ & & & & | & & | & & \\ & & & & CH_3 & & CH_3 & & \end{array}$$

$$\begin{array}{ccccccccc} & & & & CH_3 & & & & \\ & & & & | & & & & \\ CH_3 & - & CH_2 & - & C & - & CH & - & CH_3 \\ & & & & | & & | & & \\ & & & & CH_3 & & CH_3 & & \end{array}$$

Para nombrar a los alcanos ramificados:

1º. Se determina la cadena lineal más larga y en ella se numeran los átomos de carbono, empezando por el extremo en donde esté más próxima una ramificación.
2º. Se identifican los radicales que forman las ramificaciones.
3º. Se nombran estos radicales en orden alfabético anteponiéndoles los números de los átomos de carbono de la cadena principal a los que están unidos. (Si un mismo radical se repite dos o más veces, se le agregan los prefijos *di-*, *tri-*, etcétera.) Los prefijos no se toman en cuenta para el orden alfabético.
4º. Cuando un mismo radical existe dos o más veces en los carbonos de la cadena lineal más larga, los números que correspondan a dichos átomos se escriben en forma creciente separándolos con comas y un guión para separar los números de las letras.
5º. Al final se da el nombre del alcano al que le corresponda la cadena lineal más larga.
6º. El nombre del compuesto se escribe todo junto.

Observa el siguiente ejemplo:

$$\begin{array}{ccccc} CH_3 & - & CH & - & CH_3 \\ & & | & & \\ & & CH_3 & & \end{array}$$

La cadena lineal más larga tiene tres átomos de carbono y, en este ejemplo, se puede numerar de izquierda a derecha o de derecha a izquierda, pues el sustituyente está a igual distancia de ambos extremos.

$$\begin{array}{ccccc} 1 & & 2 & & 3 \\ CH_3 & — & CH & — & CH_3 \\ & & | & & \\ & & CH_3 & & \end{array}$$

La ramificación está formada por el radical metilo que se une al carbono 2 de la cadena principal.

La cadena lineal más larga pertenece al propano (tres átomos de carbono). El nombre de ese compuesto es:

2-metilpropano

Ejercicios

2.9

$$\begin{array}{ccccccc} & & & & CH_3 & & \\ & & & & | & & \\ CH_3 & — & CH_2 & — & C & — & CH_3 \\ & & & & | & & \\ & & & & CH_3 & & \end{array}$$

a) ¿Cuántos átomos de carbono tiene la cadena lineal más larga?

b) ¿A qué alcano pertenece la cadena más larga?

En esta cadena se numeran los átomos de carbono empezando por el extremo derecho, porque las ramificaciones están más cerca de él:

$$\begin{array}{ccccccc} & & & & CH_3 & & \\ 4 & & 3 & & 2| & & 1 \\ CH_3 & — & CH_2 & — & C & — & CH_3 \\ & & & & | & & \\ & & & & CH_3 & & \end{array}$$

c) ¿Cuál es el nombre de las ramificaciones?

d) ¿A cuál carbono están unidas?

El nombre del compuesto es:

2,2-dimetilbutano

2.10

$$\begin{array}{ccccccccccccccc} CH_3 & — & CH_2 & — & CH & — & CH & — & CH & — & CH & — & CH & — & CH_3 \\ & & & & | & & | & & | & & | & & | & & \\ & & & & CH_3 & & CH_2 & & CH_3 & & CH_2 & & CH_3 & & \\ & & & & & & | & & & & | & & & & \\ & & & & & & CH_2 & & & & CH_3 & & & & \\ & & & & & & | & & & & & & & & \\ & & & & & & CH_3 & & & & & & & & \end{array}$$

a) ¿Cuántos átomos de carbono tiene la cadena principal?

---

b) ¿Cuál es el nombre del alcano que tiene 8 átomos de carbono?

---

c) ¿En cuál extremo se empieza a numerar la cadena?

$$\overset{8}{CH_3}-\overset{7}{CH_2}-\overset{6}{CH}(CH_3)-\overset{5}{CH}(CH_2-CH_2-CH_3)-\overset{4}{CH}(CH_3)-\overset{3}{CH}(CH_2-CH_3)-\overset{2}{CH}(CH_3)-\overset{1}{CH_3}$$

d) ¿Cuántas ramificaciones tiene?

---

e) Tres de ellas son iguales. ¿Cuál es el nombre de este radical?

---

f) ¿A qué carbonos están unidas?

---

g) ¿Qué nombres tienen las otras dos ramificaciones?

---

h) ¿A qué carbonos está unido este radial?

El nombre de este compuesto es:

3-etil-2,4,6-trimetil-5-propiloctano

NOTA: No olvides que la cadena principal en ocasiones no se dibuja recta ni necesariamente horizontal.

2.11

$$CH_3-CH(CH_2-CH_3)-CH_2-CH_2-C(CH_3)(CH_2-CH_3)-CH_3$$

Aquí la cadena horizontal tiene 6 átomos de carbono, pero si la analizas con detenimiento la cadena lineal continua más larga tiene 8 y es la principal.

$$\begin{array}{ccccccccccc}
 & & {}^{8}CH_3 & & & & & & & & \\
 & & | & & & & & & & & \\
 & & {}^{7}CH_2 & & & & & & CH_3 & & \\
 & & {}^{6}| & & {}^{5} & & {}^{4} & & {}^{3}| & & \\
CH_3 & — & CH & — & CH_2 & — & CH_2 & — & C & — & CH_3 \\
 & & & & & & & & | & & \\
 & & & & & & & & {}^{2}CH_2 & & \\
 & & & & & & & & | & & \\
 & & & & & & & & {}^{1}CH_3 & &
\end{array}$$

El nombre del compuesto es:

3,3,6-trimetiloctano

2.12 Escribe el nombre de los siguientes alcanos ramificados:

Compuesto	Nombre
$\begin{array}{ccccccccc} CH_3 & — & CH & — & CH & — & CH_2 & — & CH_3 \\ & & | & & | & & & & \\ & & CH_3 & & CH_3 & & & & \end{array}$	________________
$\begin{array}{ccccc} & & CH_3 & & \\ & & | & & \\ CH_3 & — & C & — & CH_3 \\ & & | & & \\ & & CH_3 & & \end{array}$	________________
$\begin{array}{ccccccccccc} & & & & CH_3 & & & & & & \\ & & & & | & & & & & & \\ CH_3 & — & CH_2 & — & C & — & CH_2 & — & CH & — & CH_3 \\ & & & & | & & & & | & & \\ & & & & CH_2 & & & & CH_3 & & \\ & & & & | & & & & & & \\ & & & & CH_3 & & & & & & \end{array}$	________________
$\begin{array}{ccccccccccccc} CH_3 & — & CH_2 & — & CH & — & CH & — & CH_2 & — & CH_2 & — & CH_3 \\ & & & & | & & | & & & & & & \\ & & & & CH_2 & & CH_3 & & & & & & \\ & & & & | & & & & & & & & \\ & & & & CH_3 & & & & & & & & \end{array}$	________________
$\begin{array}{ccccccccccccccc} & & CH_3 & & & & & & & & & & & & \\ & & | & & & & & & & & & & & & \\ CH_3 & — & CH & — & CH & — & CH & — & CH & — & CH_2 & — & CH_2 & — & CH_3 \\ & & & & | & & | & & | & & & & & & \\ & & & & CH_2 & & CH_2 & & CH_2 & & & & & & \\ & & & & | & & | & & | & & & & & & \\ & & & & CH_3 & & CH_2 & & CH_3 & & & & & & \\ & & & & & & | & & & & & & & & \\ & & & & & & CH_3 & & & & & & & & \end{array}$	________________

Ahora estudiarás cómo escribir la fórmula semidesarrollada de alcanos de cadena lineal y ramificada a partir de su nombre. Observa los siguientes ejemplos:

a) **Pentano**

Con el nombre se puede deducir que la molécula contiene 5 átomos de carbono (*pent-*) y que están unidos mediante enlaces sencillos (la terminación *-ano* indica que se trata de un alcano). En seguida se escribe la cadena de carbonos.

$$C—C—C—C—C$$

Recuerda que el carbono es tetravalente y en la cadena de carbonos, aquellos de los extremos tienen ocupada solamente una valencia y los intermedios dos.

$$\begin{array}{ccccccccccc} & | & & | & & | & & | & & | & \\ — & C & — & C & — & C & — & C & — & C & — \\ & | & & | & & | & & | & & | & \end{array}$$

Complementa las valencias libres con hidrógenos para obtener:

$$CH_3—CH_2—CH_2—CH_2—CH_3$$

b) **4-Etil-2,2-dimetiloctano**

Al final del nombre encuentra la palabra *octano*, esto significa que la cadena principal tiene 8 (*oct-*) átomos de carbono. Se escribe esa cadena numerando los átomos de carbono.

$$\begin{array}{ccccccccccccccc} \mathbf{1} & & \mathbf{2} & & \mathbf{3} & & \mathbf{4} & & \mathbf{5} & & \mathbf{6} & & \mathbf{7} & & \mathbf{8} \\ C & — & C & — & C & — & C & — & C & — & C & — & C & — & C \end{array}$$

En el carbono número 4 se incluye un radical etilo ($CH_3—CH_2—$):

$$\begin{array}{ccccccccccccccc} C & — & C & — & C & — & C & — & C & — & C & — & C & — & C \\ & & & & & & | & & & & & & & & \\ & & & & & & CH_2 & & & & & & & & \\ & & & & & & | & & & & & & & & \\ & & & & & & CH_3 & & & & & & & & \end{array}$$

En el carbono 2 se escriben 2 (*di-*) radicales metilo (CH_3–):

$$\begin{array}{ccccccccccccccc} & & CH_3 & & & & & & & & & & & & \\ & & | & & & & & & & & & & & & \\ C & — & C & — & C & — & C & — & C & — & C & — & C & — & C \\ & & | & & & & | & & & & & & & & \\ & & CH_3 & & & & CH_2 & & & & & & & & \\ & & & & & & | & & & & & & & & \\ & & & & & & CH_3 & & & & & & & & \end{array}$$

y se completan con hidrógenos los cuatro enlaces de cada carbono, dando el siguiente resultado:

$$\begin{array}{ccccccccccccccc} & & CH_3 & & & & & & & & & & & & \\ & & | & & & & & & & & & & & & \\ CH_3 & — & C & — & CH_2 & — & CH & — & CH_2 & — & CH_2 & — & CH_2 & — & CH_3 \\ & & | & & & & | & & & & & & & & \\ & & CH_3 & & & & CH_2 & & & & & & & & \\ & & & & & & | & & & & & & & & \\ & & & & & & CH_3 & & & & & & & & \end{array}$$

Ejercicios

2.13 Escribe la fórmula semidesarrollada de los siguientes hidrocarburos:

a) Hexano

b) 5-Etil-2,4,5-trimetilheptano

Los hidrocarburos vistos en este apartado tienen carbonos primarios, secundarios, terciarios y cuaternarios.

Un carbono es *primario* (1º) cuando sólo tiene un enlace con un átomo de carbono y el resto de sus enlaces son con hidrógeno:

$$\begin{array}{c} \text{H} \\ | \\ \text{H—C—} \\ | \\ \text{H} \end{array} \qquad (\text{CH}_3\text{—})$$

Es *secundario* (2º) cuando está unido a dos átomos de hidrógeno y dos de carbono:

$$\begin{array}{c} \text{H} \\ | \\ \text{—C—} \\ | \\ \text{H} \end{array} \qquad (\text{—CH}_2\text{—})$$

Es *terciario* (3º) cuando está unido a tres átomos de carbono:

$$\begin{array}{c} | \\ \text{—C—H} \\ | \end{array} \qquad (\text{—}\overset{|}{\underset{|}{\text{C}}}\text{H})$$

El *cuaternario* (4º) está unido a cuatro átomos de carbono:

$$\begin{array}{c} | \\ \text{—C—} \\ | \end{array}$$

Observa el siguiente ejemplo:

$$\begin{array}{ccccccccc} & & & & \overset{1o.}{CH_3} & & & & \\ & & & & | & & & & \\ \overset{1o.}{CH_3} & — & \overset{3o.}{CH} & — & \overset{4o.}{C} & — & \overset{2o.}{CH_2} & — & \overset{1o.}{CH_3} \\ & & | & & | & & & & \\ & & \underset{1o.}{CH_3} & & \underset{1o.}{CH_3} & & & & \end{array}$$

En el caso del metano (CH_4), el carbono no puede clasificarse como primario, ya que no tiene enlaces con otros carbonos.

Ejercicios

2.14 En la siguiente estructura, indica para cada carbono si se trata de un carbono primario (1º), secundario (2º), terciario (3º) y cuaternario (4º):

$$\begin{array}{ccccccccc} & & CH_3 & & CH_3 & & & & \\ & & | & & | & & & & \\ CH_3 & — & CH & — & C & — & CH_2 & — & CH_3 \\ & & & & | & & & & \\ & & & & CH_2 & & & & \\ & & & & | & & & & \\ & & & & CH_3 & & & & \end{array}$$

2.15 Escribe los nombres y las fórmulas moleculares de los siguientes compuestos.

$$CH_3 — CH_2 — CH_2 — CH_3 \qquad\qquad \begin{array}{ccccc} & & CH_3 & & \\ & & | & & \\ CH_3 & — & CH & — & CH_3 \end{array}$$

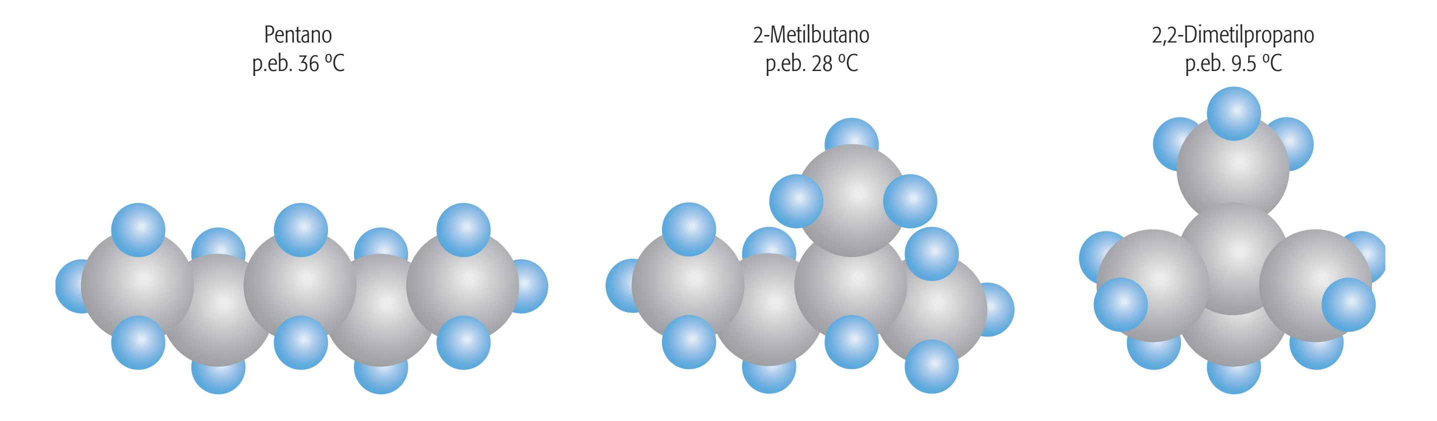
Nombre ______________________ Nombre ____________________

Fórmula molecular _____________ Fórmula molecular _______________

Como se puede observar, la fórmula molecular de estos alcanos es igual, pero su estructura es distinta, por tanto, se trata de dos compuestos diferentes: el primero es un alcano de cadena lineal, el segundo es ramificado.

A los compuestos como el butano y el 2-metilpropano se les llama *isómeros*. Los **isómeros** son compuestos que poseen el mismo número de átomos de cada elemento, pero su estructura en el espacio (es decir, su fórmula desarrollada) es distinta, por tanto, presentan propiedades físicas y químicas diferentes.

Figura 2.4 *Punto de ebullición de los isómeros del pentano.* Existe una estrecha relación entre la estructura y las propiedades, como puedes verlo al analizar los isómeros del pentano. A pesar de que los tres compuestos tienen la fórmula C_5H_{12}, las diferencias en la cantidad de ramificaciones afectan sus propiedades. Observa también la diferencia de la forma de las moléculas.



Ejercicios

2.16 Escribe a la derecha de cada fórmula semidesarrollada, la fórmula molecular y el nombre del compuesto.

$CH_3—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_3$ ____________ ____________

$CH_3 — CH(CH_3) — CH_2 — CH_2 — CH_3$ ____________ ____________

$CH_3 — CH_2 — CH(CH_3) — CH_2 — CH_3$ ____________ ____________

$CH_3 — C(CH_3)_2 — CH_2 — CH_3$ ____________ ____________

$CH_3 — CH(CH_3) — CH(CH_3) — CH_3$ ____________ ____________

a) ¿Representan al mismo compuesto las fórmulas anteriores? ¿Su fórmula molecular es igual?

____

____

b) Estos compuestos son ____________________________

A este tipo de isomería se le llama *estructural*, porque lo único que cambia entre un compuesto y otro es su estructura.

2.17 Escribe las fórmulas semidesarrolladas y los nombres de los isómeros cuya fórmula molecular es C_4H_{10}.

____________________ ____________________

____________________ ____________________

Propiedades físicas y químicas de los alcanos

A temperatura ambiente, los primeros cuatro alcanos son gaseosos; los que tienen de 5 a 16 átomos de carbono son líquidos, y sólidos aquellos que cuentan con 17 o más átomos de carbono en su molécula. Por ejemplo, el hexadecano ($C_{16}H_{34}$) se funde a 18 °C.

Los alcanos son incoloros y tienen un olor característico. Su densidad aumenta conforme se incrementa el número de átomos de carbono; lo mismo ocurre con el punto de fusión y de ebullición.

Los alcanos o parafinas son bastante inertes; sin embargo, los que tienen de entre 1 a 10 carbonos son más reactivos que el resto. Estos compuestos son combustibles, cuando se queman producen CO_2 y H_2O y liberan gran cantidad de energía térmica.

$$CH_3—CH_2—CH_2—CH_2—CH_3 + 16O_2 \xrightarrow[\Delta]{} 5CO_2 + 6H_2O + \Delta E$$

Los alcanos reaccionan con los halógenos en presencia de luz, formando el hidrácido correspondiente y derivados halogenados.

Estructura y nomenclatura de los cicloalcanos

Los *cicloalcanos* son hidrocarburos de cadena cerrada, en los que cada eslabón de la cadena es un metileno ($—CH_2—$). Por esta razón se les nombra también hidrocarburos *polimetilénicos*; además, suelen llamarse *cicloparafinas*, ya que sus características son semejantes a las de los alcanos o parafinas.

Para escribir la fórmula desarrollada de los cicloalcanos se pueden dibujar figuras geométricas regulares (triángulo, cuadrado, pentágono, hexágono, etcétera), y escribir en cada vértice un átomo de carbono con dos de sus enlaces ocupados con átomos de hidrógeno.

Para nombrar estos compuestos se antepone al nombre del alcano con el mismo número de átomos de carbono el prefijo *ciclo-*.

Observa las fórmulas moleculares:

La fórmula general para los cicloalcanos es:

C_nH_{2n}

donde *n* equivale al número de átomos de carbono.

Fórmula desarrollada	Fórmula semidesarrollada	Fórmula geométrica simplificada	Fórmula molecular o condensada	Nombre
			C_3H_6	Ciclopropano
			C_4H_8	Ciclobutano
			C_5H_{10}	Ciclopentano
			C_6H_{12}	Ciclohexano

En las fórmulas geométricas se sobreentiende que cada vértice de la figura representa un átomo de carbono unido a dos de hidrógeno.

En los cicloalcanos también pueden existir ramificaciones, y para nombrarlas se siguen reglas sencillas. Si el cicloalcano tiene sólo una ramificación, primero se menciona ésta y en seguida se da el nombre del cicloalcano.

CH_3

Metilciclopropano

CH_3—CH_2

Etilciclopentano

Cuando existen dos o más ramificaciones deben numerarse los carbonos a los que están unidas.

La numeración se inicia asignando el número uno al radical alquilo que alfabéticamente deberá nombrarse primero y se continúa en un sentido tal que las ramificaciones queden en los átomos de carbono con números más bajos.

CH_3 CH_3

1,2-Dimetilciclobutano

CH_3 CH_2 CH_3 CH_3

1-Etil-2,4-dimetilciclopentano

CH_3 CH_2 CH_3 CH_3 CH_3

1-Etil-1,2,4-trimetilciclohexano

Los alcanos en la vida cotidiana

Pregunta a algunas personas si conocen los siguientes alcanos: ciclohexano, decano, 2-metilpropano; lo más probable es que su respuesta sea negativa. Los dos primeros forman parte de la gasolina y el tercero del gas combustible que contienen los encendedores de bolsillo.

La principal fuente de hidrocarburos, entre éstos los alcanos, es el petróleo, del que constituyen aproximadamente 90%. Los hidrocarburos se obtienen por destilación fraccionada del petróleo crudo.

El petróleo brota en forma espontánea, pero si esto no ocurre es necesario extraerlo con bombas. Cuando se encuentra en los poros de las rocas, se inyecta al pozo agua y un barro especial para que el petróleo suba. Los métodos de perforación pueden ser de rotación o percusión.

¿Sabías que...?

A los cicloalcanos también de les llama alicíclicos o naftenos, por abundar en la nafta o petróleo del Cáucaso.



Figura 2.5 *Encendedores desechables* A pesar de que el butano y el 2-Metilpropano a temperatura ambiente y presión atmosférica normal son gases, ambos pueden licuarse a presión alta y en recipientes cerrados. La mayoría de los encendedores desechables contienen uno o ambos compuestos, que son lo suficientemente inflamables como para encenderse mediante una chispa.

La palabra y su raíz

petróleo (latín) *petra* piedra, *oleum* aceite. El petróleo es un aceite combustible fósil, que se encuentra de forma natural en los estratos rocosos de algunas formaciones geológicas.

Al petróleo así obtenido se le llama *petróleo crudo*, y se almacena en depósitos anexos al pozo en donde se elimina el agua y la arcilla. De estos depósitos se transporta en carros tanque, pipas, barcos o tuberías y, después, previamente calentado en un horno, se separa en diversos componentes mediante destilación fraccionada, aprovechando sus distintos puntos de ebullición.

La refinación del petróleo se realiza en *columnas de fraccionamiento*, llamadas así porque de ellas salen, a diferentes alturas, las fracciones que lo forman según su punto de ebullición (figura 2.6).

En el **cuadro 2.2** se mencionan las fracciones que se obtienen del petróleo, el número de átomos de carbono que contienen los hidrocarburos que las forman y la temperatura de ebullición.

La refinación industrial del petróleo comenzó en 1836, para obtener un líquido llamado *queroseno*, muy usado en lámparas. Antes del invento de los motores de combustión interna, el queroseno era la fracción más importante del petróleo.

En la actualidad, debido a que se emplea como combustible para motores, la gasolina es la fracción de mayor demanda.

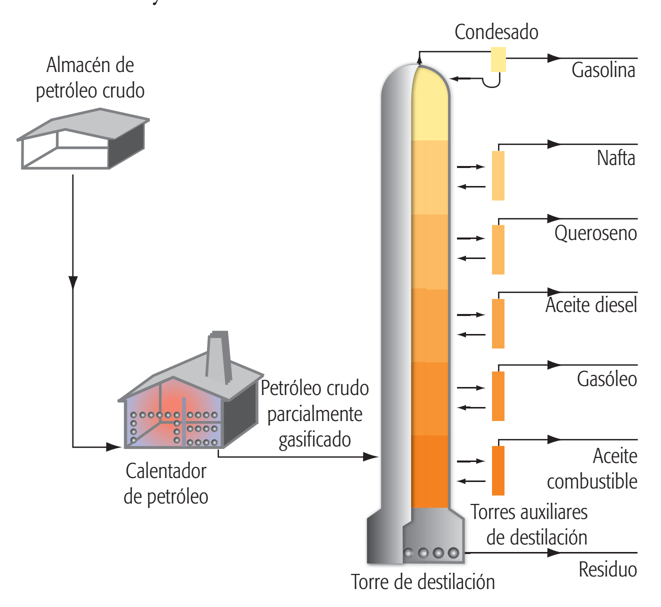


Figura 2.6 Esquema de una planta de destilación primaria.

Cuadro 2.2 Fracciones obtenidas del petróleo.

Fracción	Número de átomos de carbono	Intervalo de ebullición en °C
Gas	1 a 4	–165 a 30
Éter de petróleo	5 a 7	30 a 90
Naftas ligeras		90 a 110
Gasolina	5 a 12	30 a 200
Queroseno	12 a 16	175 a 275
Aceite volátil, combustible y diésel	15 a 18	275 a 400
Aceites lubricantes, vaselinas	16 a 30	350 a y más
Ceras parafinas	18 a 32	27 a 69
Betún, alquitrán, asfaltos		Residuo
Coque de petróleo		Residuo

Usos comunes de los hidrocarburos

- El metano (CH_4), el etano ($CH_3—CH_3$), el propano ($CH_3—CH_2—CH_3$) y el butano ($CH_3—CH_2—CH_2—CH_3$) son gases combustibles empleados con mucha frecuencia para calentamiento.
- Del propano y el butano surge el combustible doméstico.
- El butano y el 2-metilpropano forman el combustible usado en encendedores.
- El pentano, el decano, el hexano y el ciclohexano son algunos de los alcanos que forman la gasolina.
- El éter de petróleo o ligroína se usa como disolvente para el lavado en seco.
- El queroseno es el combustible empleado en los calentadores.
- El diésel se emplea como combustible en motores.
- Los aceites lubricantes y la vaselina se usan como lubricante.
- Las ceras de parafina sirven para hacer velas, cerillos e impermeabilizantes.
- El asfalto es utilizado para pavimentación y recubrimientos.
- El coque de petróleo se usa para elaborar electrodos de carbón.

Los alcanos también se usan como disolventes en removedores de pintura y pegamentos, y constituyen la materia prima para elaborar infinidad de compuestos orgánicos sintéticos, como verás más adelante.

Con respecto a las gasolinas, se encontró que cuando están formadas por hidrocarburos lineales (cadena continua sin ramificaciones), se inflaman con demasiada rapidez con pérdida de potencia y daños al motor.

Para obtener un máximo rendimiento de los motores de combustión interna, se requiere que el combustible vaporizado se queme gradualmente al saltar la chispa de la bujía sin que haya detonaciones secundarias (lo que se conoce como "cascabeleo").

Sólo las gasolinas ricas en hidrocarburos de cadena ramificada son de alto rendimiento.

Para medir la eficiencia de las gasolinas, se usó un motor patrón de un cilindro, cuya eficiencia se determinó con heptano puro ($CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_3$), al que se le dio un valor de 0 (cero) y después con 2,2,4-trimetilpentano, incorrectamente llamado isooctano.

Investiga

El significado de las siglas LP, leyenda que se muestra en las pipas distribuidoras de gas doméstico.

$$
\begin{array}{ccccccccc}
 & & CH_3 & & & & & & \\
 & & | & & & & & & \\
CH_3 & — & C & — & CH_2 & — & CH & — & CH_3 \\
 & & | & & & & | & & \\
 & & CH_3 & & & & CH_3 & &
\end{array}
$$

A éste se le dio el valor de 100. Posteriormente, con diferentes mezclas de estos dos hidrocarburos, se construyó una escala, contra la cual se compara el poder antidetonante de las gasolinas. A este poder se le llama *octanaje*. Así, por ejemplo, si una gasolina tiene octanaje de 85 ("85 octano") significa que posee la misma calidad antidetonante que una mezcla de 85% de isooctano y 15% de *n*-heptano.

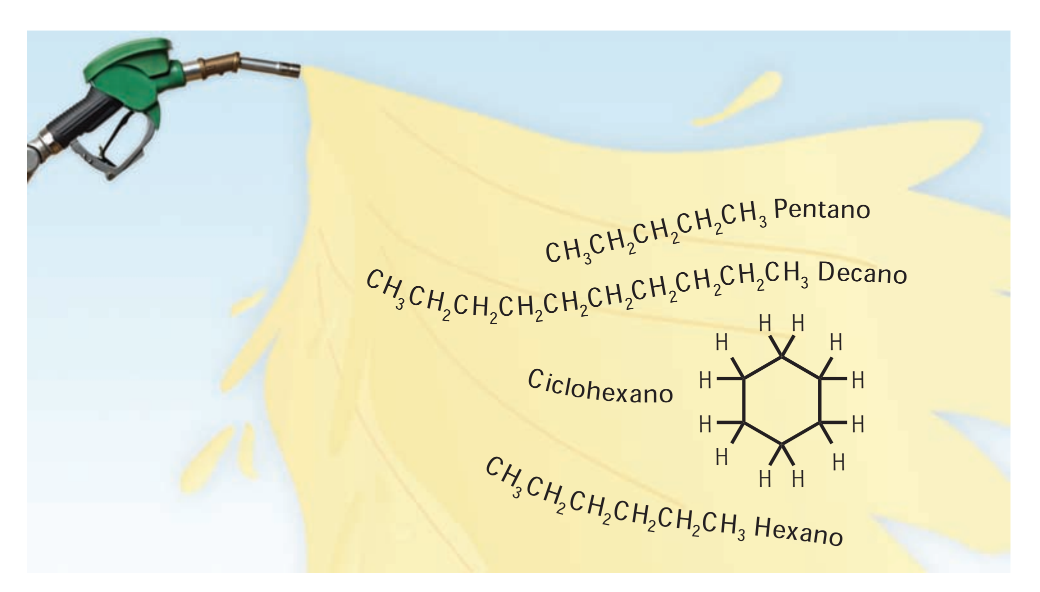


Figura 2.7 *Alcanos presentes en la gasolina y el índice de octano* La gasolina se clasifica con una escala conocida como índice de octano, que se basa en la forma en que se quema en un motor. Cuanto mayor es el índice de isooctano, mayor es el porcentaje de hidrocarburos de estructura compleja presentes en la mezcla, por lo que la gasolina se quemará de manera más uniforme y el motor producirá menor golpeteo. Así, una gasolina con un índice de octanaje de 92 se quema de manera más uniforme que una con un índice de octanaje de 87.

El poder antidetonante de las gasolinas mejora con aditivos como el tetraetilo de plomo.

$$
\begin{array}{ccccccccc}
 & & & & CH_3 & & & & \\
 & & & & | & & & & \\
 & & & & CH_2 & & & & \\
 & & & & | & & & & \\
CH_3 & — & CH_2 & — & Pb & — & CH_2 & — & CH_3 \\
 & & & & | & & & & \\
 & & & & CH_2 & & & & \\
 & & & & | & & & & \\
 & & & & CH_3 & & & &
\end{array}
$$

Investiga

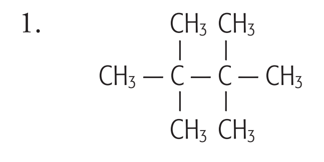
¿Cuál es el significado del vocablo inglés *crack*?

Pero cuando el combustible se quema, el plomo forma un compuesto que incrementa la contaminación del aire. Se han tomado medidas para que los motores de combustión interna trabajen únicamente con gasolina sin plomo.

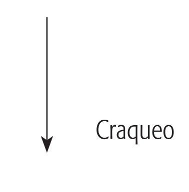
Ahora bien, ya se ha dicho que la fracción del petróleo de mayor demanda son las gasolinas, pero como las obtenidas de la destilación primaria son insuficientes para cubrir la demanda, se aumenta su producción por diferentes métodos, tales como *craqueo*, *isomerización* y *alquilación*, entre otros.

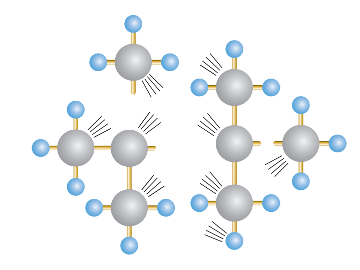
El *craqueo*, llamado también desintegración térmica o pirólisis, consiste en fraccionar las grandes moléculas de los hidrocarburos de peso molecular elevado en otras de menor peso molecular, empleando únicamente calor y presión, como se muestra a continuación.

1.



2,2,3,3-Tetrametilbutano





$CH_3-CH=CH_2$
Propeno
+
C
Carbono
+

$CH_3-CH_2-CH_2-CH_3$
n-Butano
+
H_2
Hidrógeno

2. $CH_3-(CH_2)_{14}-CH_3 \rightarrow CH_3-(CH_2)_6-CH_3 + CH_3-(CH_2)_7-CH_3 +$
$CH_3-(CH_2)_8-CH_3 + CH_2=CH_2 +$
$CH_3-CH=CH_2 + C$

El craqueo catalítico consiste en adicionar al petróleo destilable un catalizador, lo que permite disminuir la presión o la duración de la operación y orientar la descomposición para obtener productos más deseables.

La *isomerización* tiene gran importancia comercial. Consiste en la transformación de una molécula de cadena recta en otra ramificada, y por este procedimiento se obtienen gasolinas de alta calidad (alto octanaje) para aviones y automóviles con motores de alta compresión.

Considera lo siguientes ejemplos.

$$CH_3-CH_2-CH_2-CH_3 \rightarrow CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-CH_3$$

Butano — 2-Metilpropano o isobutano

La palabra y su raíz

pirólisis (griego) *piros* calor, *lisis* ruptura.
Descomposición de un compuesto químico por acción del calor.

$$CH_3-(CH_2)_3-CH_3 \rightarrow CH_3-\underset{\underset{CH_3}{|}}{CH}-CH_2-CH_3$$

Pentano — 2-Metilbutano

$$CH_3-(CH_2)_4-CH_3 \rightarrow CH_3-\overset{\overset{CH_3}{|}}{\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}}-CH_2-CH_3$$

Hexano — 2,2-Dimetilbutano

La *alquilación* consiste en la reacción de un alcano con un alqueno para obtener un alcano ramificado con mayores propiedades antidetonantes.

$$CH_3-CH_2-CH_2-CH_3 + CH_2{=}CH_2 \rightarrow CH_3-\underset{\underset{CH_3}{|}}{CH}-\underset{\underset{CH_3}{|}}{CH}-CH_3$$

Butano — Eteno o etileno — 2,3-Dimetilbutano o neohexano

$$CH_3-\overset{\overset{CH_3}{|}}{CH}-CH_3 + H_2C{=}\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}-CH_3 \rightarrow CH_3-\overset{\overset{CH_3}{|}}{\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}}-CH_2-\overset{\overset{CH_3}{|}}{CH}-CH_3$$

2-Metilbutano o isobutano — 2-Metilpropeno — 2,2,4-Trimetilpentano

Efectos en el medio ambiente

Por desgracia, algunos factores de explotación y usos del petróleo ocasionan daños al ambiente. Por ejemplo, es inevitable que ocurran derrames de petróleo en el mar, lo que forma una película lustrosa flotante que impide el intercambio de oxígeno y dióxido de carbono entre el aire y el agua. Esto ocasiona que mueran muchos peces y otros organismos acuáticos.

Cuando el combustible derivado del petróleo se quema, se produce una mezcla de gases que contienen dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrocarburos cíclicos y otros compuestos.

Aunque el dióxido de carbono es un componente normal del aire e indispensable para la fotosíntesis, su exceso depositado en la atmósfera durante largos periodos puede causar un intenso efecto invernadero que altera los factores que regulan la temperatura sobre la Tierra.

El monóxido de carbono es altamente tóxico, ya que al combinarse con la hemoglobina de la sangre produce un compuesto llamado carboxihemoglobina, que impide que el oxígeno llegue a las células.

Otro efecto de los hidrocarburos cíclicos en el ser humano es que pueden producir cáncer.

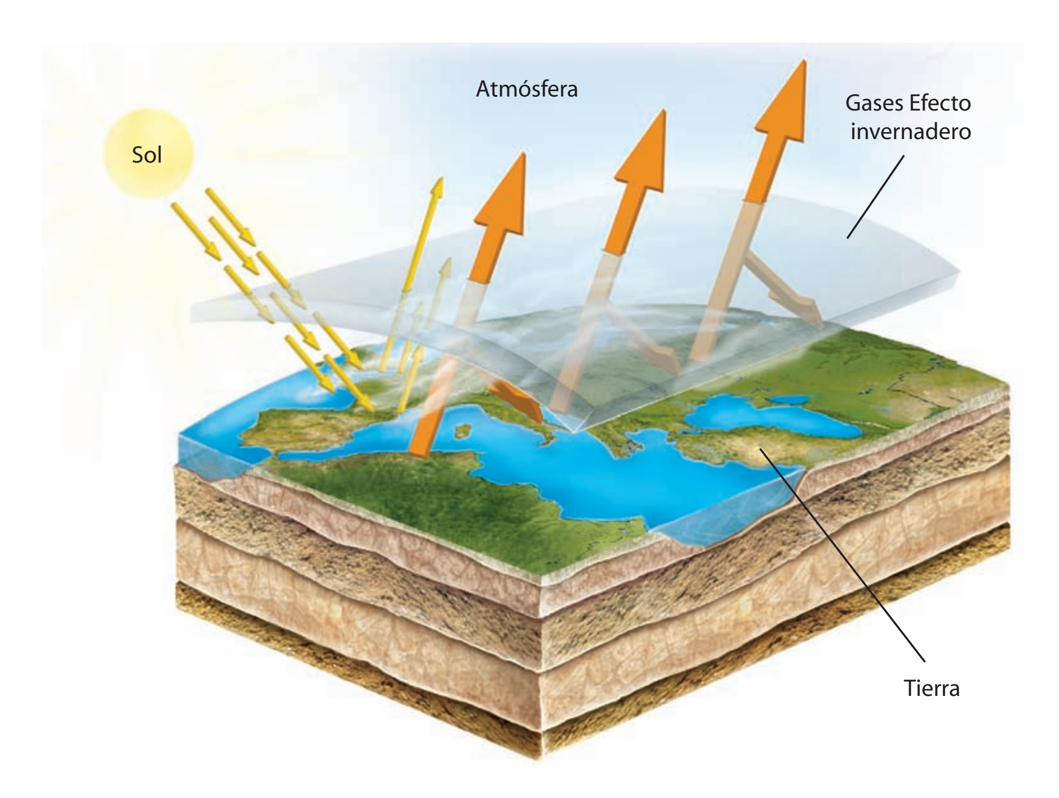


Figura 2.8 *Efecto invernadero* La energía solar pasa a través de la atmósfera como luz, pero el calor resultante no puede escapar. Además del dióxido de carbono, el vapor de agua y las nubes contribuyen al efecto invernadero. Debido a que el dióxido de carbono es producto de la combustión, su concentración en la atmósfera puede aumentar volviéndola más caliente, con resultados muy peligrosos.

La mezcla de los gases desprendidos durante la combustión y el humo producen esmog (humo-niebla) que contiene aproximadamente cincuenta compuestos diferentes, los que reaccionan entre sí en presencia de la luz solar para formar otras sustancias tóxicas, además de que irritan los ojos y los pulmones.

Lectura El proceso de refinación del petróleo

El petróleo es una mezcla líquida compuesta por numerosos hidrocarburos de color pardo oscuro o verdinegro, que se encuentra enterrado a gran profundidad entre rocas sedimentarias, tanto en tierra firme como en el mar. Para extraer este "oro líquido" se perforan pozos utilizando maquinaria especializada.

La presión del gas natural que acompaña al petróleo le obliga con frecuencia a brotar espontáneamente en las perforaciones recién abiertas originando un pozo brotante. Para transportar el petróleo hacia las refinerías se utilizan oleoductos o camiones cisterna.

Al petróleo sin refinar se le denomina ***crudo***. Los crudos están compuestos por una mezcla de centenares de hidrocarburos cuya estructura varía del metano, CH_4, hasta compuestos de muy alto peso molecular.

Todos los crudos se someten a destilación fraccionada con el fin de obtener destilados ligeros, intermedios y residuos pesados. De esta manera, se obtienen gasolinas de alto octanaje, combustibles para aviones, diésel y fracciones para la industria petroquímica, pues cada uno pasa a nuevos procesos de destilación y separación, los cuales proporcionan los productos comerciales deseados.

Los productos petroquímicos básicos son óxido de etileno, acetaldehído, benceno, tolueno, xilenos, propano, butano, naftas, etcétera. Estos productos representan en total una producción anual de varios millones de toneladas que son enviadas a plantas de tratamiento más específicas con el fin de obtener polímeros, pesticidas, detergentes, pinturas, perfumes y miles de productos más.

Adaptado de Zárraga, Velázquez, Rojero, Castells, *Química*, México, McGraw-Hill Interamericana Editores, 2004, p. 233.

2.2 Alquenos

Los **alquenos** son hidrocarburos insaturados, tienen al menos un enlace doble. Los alquenos también reciben el nombre de *olefinas* por el aspecto aceitoso de algunos de ellos.

Las fórmulas de Lewis para los dos primeros alquenos son:

$$\begin{array}{ccccccc} & & \mathrm{H} & & \mathrm{H} & & \\ & & \cdot\cdot & & \cdot\cdot & & \\ \mathrm{H} & : & \mathrm{C} & :: & \mathrm{C} & : & \mathrm{H} \end{array} \qquad \begin{array}{ccccccccc} & & \mathrm{H} & & \mathrm{H} & & \mathrm{H} & & \\ & & \cdot\cdot & & \cdot\cdot & & \cdot\cdot & & \\ \mathrm{H} & : & \mathrm{C} & :: & \mathrm{C} & : & \mathrm{C} & : & \mathrm{H} \\ & & & & & & \cdot\cdot & & \\ & & & & & & \mathrm{H} & & \end{array}$$

Las que en forma desarrollada se representan de la siguiente manera:

$$\begin{array}{ccccc} \mathrm{H} & & & & \mathrm{H} \\ & \diagdown & & \diagup & \\ & \mathrm{C} & = & \mathrm{C} & \\ & \diagup & & \diagdown & \\ \mathrm{H} & & & & \mathrm{H} \end{array} \qquad \begin{array}{ccccccccc} & & \mathrm{H} & & \mathrm{H} & & \mathrm{H} & & \\ & & | & & | & & | & & \\ \mathrm{H} & - & \mathrm{C} & = & \mathrm{C} & - & \mathrm{C} & - & \mathrm{H} \\ & & & & & & | & & \\ & & & & & & \mathrm{H} & & \end{array}$$

En el caso de 2 carbonos unidos por un enlace doble $\left(>C=C< \right)$, la hibridación de los orbitales atómicos es sp^2 y la unión de un orbital sp^2 con otro sp^2 de dos átomos de carbono, forma un orbital molecular sigma (σ). Asimismo, se crea otro enlace molecular con los dos electrones de las orientaciones p_z, el cual se llama enlace pi (π). Revisa de la unidad 1, el tema "Tipos de enlace sigma (σ) y pi (π)".

Estructura molecular y nomenclatura de los alquenos

Para nombrar a los alquenos se emplean los prefijos numéricos vistos en el **cuadro 2.1**, de acuerdo con el número de átomos de carbono que hay en sus moléculas, pero la terminación *-ano* del alcano se sustituye por *-eno*. Muchos de los alquenos tienen nombres comunes con la terminación *-ileno*.

El primer término de esta serie de compuestos debe tener dos átomos de carbono, para que entre ellos se forme un enlace doble.



Figura 2.9 *Eteno y etileno: son lo mismo* El nombre común del eteno es etileno. Es un compuesto que se encuentra de forma natural como una hormona vegetal. Su función es acelerar la maduración de los frutos y legumbres. Cuando éstos aún no maduran se pueden tratar con etileno para que el proceso se realice en menos tiempo, lo que aumenta la eficiencia de la cosecha.

$CH_2{=}CH_2$	Et*eno* (etileno)
$CH_2{=}CH{-}CH_3$	Prop*eno* (propileno)
$CH_2{=}CH{-}CH_2{-}CH_3$	l-But*eno* (α butileno)
$CH_2{=}CH{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_3$	l-Pent*eno* (α amileno)
$CH_2{=}CH{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_3$	l-Hex*eno* (α hexileno)

A partir del alqueno que tiene cuatro átomos de carbono en su molécula (buteno), debe indicarse el número del carbono en donde se localiza el enlace doble.

Para numerar la cadena se empieza del extremo en el cual se encuentra más próximo el enlace doble.

$$\overset{1}{C}H_2{=}\overset{2}{C}H{-}\overset{3}{C}H_2{-}\overset{4}{C}H_3$$ 1-Buteno

$$\overset{1}{C}H_3{-}\overset{2}{C}H{=}\overset{3}{C}H{-}\overset{4}{C}H_3$$ 2-Buteno

$$\overset{5}{C}H_3{-}\overset{4}{C}H_2{-}\overset{3}{C}H{=}\overset{2}{C}H{-}\overset{1}{C}H_3$$ 2-Penteno

Si hay dos o más enlaces dobles, se anteponen a la terminación *-eno* los prefijos *di-*, *tri-*, etcétera.

$$\overset{1}{C}H_2{=}\overset{2}{C}H{-}\overset{3}{C}H{=}\overset{4}{C}H_2$$ 1,3-Buta*di*eno

$$\overset{8}{C}H_3{-}\overset{7}{C}H{=}\overset{6}{C}H{-}\overset{5}{C}H{=}\overset{4}{C}H{-}\overset{3}{C}H_2{-}\overset{2}{C}H{=}\overset{1}{C}H_2$$ 1,4,6-Octa*tri*eno

Ejercicios

2.18 Escribe las fórmulas moleculares de los primeros cinco alquenos que tienen sólo un enlace doble.

Nombre	Fórmula molecular

2.19 ¿Qué relación existe entre el número de átomos de hidrógeno y el número de átomos de carbono en cada molécula?

___

___

___

La fórmula general de los alquenos es:

$$C_nH_{2n}$$

donde *n* es el número de átomos de carbono.

2.20. Escribe el nombre de los siguientes alquenos:

$CH_3—CH═CH—CH_3$ ____________________

$CH_3—CH═CH—CH_2—CH_3$ ____________________

$CH_2═CH—CH_2—CH_2—CH_3$ ____________________

$CH_3—CH═CH_2$ ____________________

$CH_3—CH═CH—CH═CH—CH═CH_2$ ____________________

Si el alqueno tiene ramificaciones, en primer lugar se mencionan éstas y al final el tipo de alqueno de que se trate, considerando que el enlace doble se encuentra en la cadena principal. A continuación podrás ver algunos ejemplos:

```
        CH3
        |
CH3 — C — CH2 — CH = CH2
        |
        CH3
```

4,4-Dimetil-1-penteno

```
CH2 = CH — CH — CH3
            |
            CH3
```

3-Metil-l-buteno

```
        CH3
        |
CH3 — C = C — CH2 — CH3
            |
            CH2
            |
            CH3
```

3-Etil-2-metil-2-penteno

Isomería de posición y geométrica de los alquenos

Si observas las fórmulas semidesarrolladas de los párrafos anteriores del 1-buteno y del 2-buteno, podrás darte cuenta que se trata de compuestos diferentes que tienen la misma fórmula condensada o molecular (C_4H_8). Estos compuestos son isómeros.

La isomería, en este caso, recibe el nombre de *isomería de posición* porque lo único que cambia es la posición del enlace doble.

La isomería geométrica es aquella que se presenta debido a las posibilidades de acomodar a los átomos enlazados a los carbonos que forman un enlace doble. Este tipo de isomería se puede apreciar sólo cuando se hace la representación de las moléculas en el espacio.

Observa las dos fórmulas desarrolladas del 2-buteno ($CH_3–CH=CH–CH_3$) (figura 2.10).

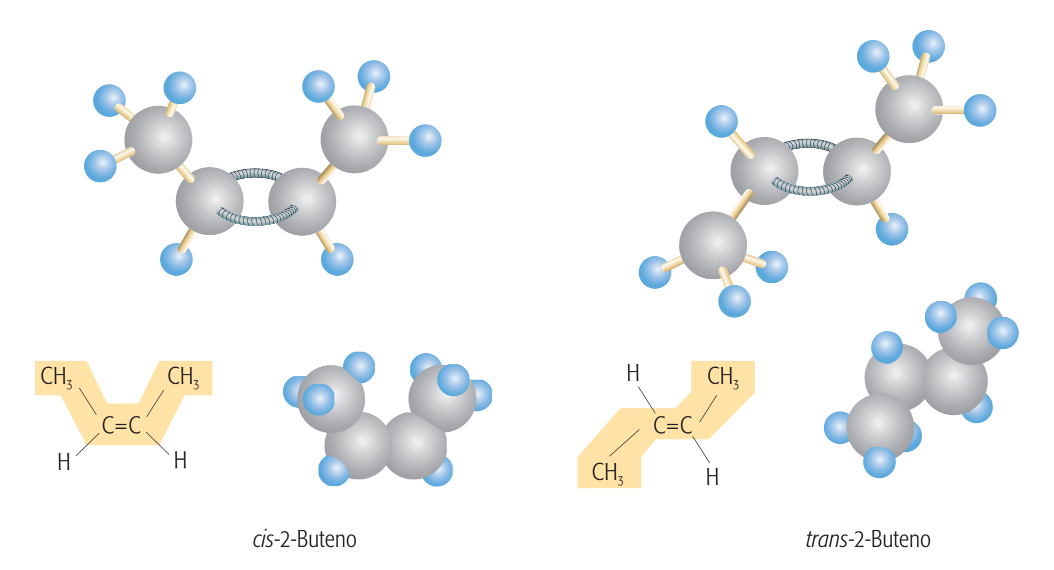


Figura 2.10 *Isómeros geométricos* El *cis*-2-buteno y el *trans*-2-buteno son isómeros geométricos. Observa su forma, con los modelos de esferas y barras y con los modelos de espacio lleno.

Aunque su nombre es 2-buteno, se trata de dos compuestos distintos: son isómeros geométricos. Esta isomería se debe a que la unión —C═C— no puede girar.

Propiedades físicas y químicas de los alquenos

- Los primeros tres compuestos son gases a presión y a temperatura ambiente; los siguientes son líquidos. Los alquenos con más de 16 átomos de carbono en su molécula son sólidos.
- Son insolubles en agua.
- Su densidad, punto de fusión y de ebullición se elevan conforme aumenta su peso molecular.
- Los alquenos presentan reacciones de adición relativamente sencillas, esto es, se rompe el enlace doble y se adicionan en ese sitio las sustancias con las que se combinan.
- Con hidrógeno, en presencia de catalizadores, forman alcanos.

$$CH_2{=}CH_2 + H_2 \longrightarrow CH_3{-}CH_3$$

- Con flúor, cloro o bromo forman derivados dihalogenados en átomos de carbono vecinos.

$$CH_3 - CH = CH_2 + Cl_2 \longrightarrow CH_3 - \underset{\displaystyle Cl}{\underset{|}{CH}} - \underset{\displaystyle Cl}{\underset{|}{CH_2}}$$

- Con hidrácidos (H–X) forman derivados monohalogenados.

$$CH_2 = CH - CH_2 - CH_3 + HI \longrightarrow \underset{\displaystyle H}{\underset{|}{CH_2}} - \underset{\displaystyle I}{\underset{|}{CH}} - CH_2 - CH_3$$

La palabra y su raíz

cis (latín) *cis* en este lado.
En una configuración *cis* ciertos grupos de átomos se localizan en el mismo lado de la molécula.
trans *trans* en el otro lado.
En una configuración *trans* ciertos grupos de átomos se localizan en lados opuestos de la molécula.

- En todas las reacciones de adición se cumple la regla de Markovnikoff, según la cual el elemento más electronegativo se introduce al carbono con menos hidrógenos.

Por ejemplo, cuando el propeno ($CH_3—CH═CH_2$) reacciona con ácido clorhídrico (HCl) hay dos posibles productos.

$CH_3 — CH ═ CH_2 + HCl \longrightarrow CH_3 — CH(Cl) — CH_3$ Producto 1

$\dashrightarrow CH_3 — CH_2 — CH_2 — Cl$ Producto 2

De acuerdo con la regla mencionada, el producto1 es el que se obtiene ordinariamente.

Estructura y nomenclatura de los cicloalquenos

Los **cicloalquenos** son hidrocarburos no saturados de cadena cerrada, que contienen en su molécula cuando menos un enlace doble. Para nombrarlos se antepone al término del alqueno la partícula *ciclo*-.

La fórmula general de los cicloalquenos es:

$$C_nH_{2n-2}$$

En los siguientes ejemplos podrás confirmar lo anterior:

CH / CH_2 — CH o [triángulo] Ciclopropeno

CH — CH_2 / CH, CH_2 / CH_2 o [pentágono] Ciclopenteno

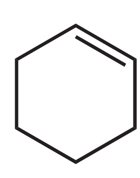
CH_3 / C / CH_2, CH / CH_2 — CH_2 o [pentágono con CH_3; 1, 2, 3, 4, 5] 1-Metilciclopenteno

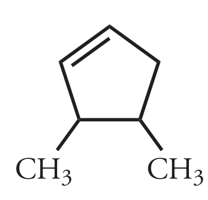
CH_2, CH_3 / CH_2, CH / CH, CH / CH, CH_3 o [hexágono con CH_3 en 3 y 4; 1, 2, 3, 4] 3,4-Dimetilciclohexeno

Ejercicio

2.21 Ahora practica lo que se presenta líneas arriba. Escribe el nombre de los siguientes cicloalquenos:







Los alquenos en la vida cotidiana

La gasolina es una mezcla de hidrocarburos. Recordarás que ya se han mencionado algunos de los alcanos que la forman. De los alquenos presentes en la gasolina están el 1-hexeno ($CH_2{=}CH{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_3$) y el ciclohexeno ( )

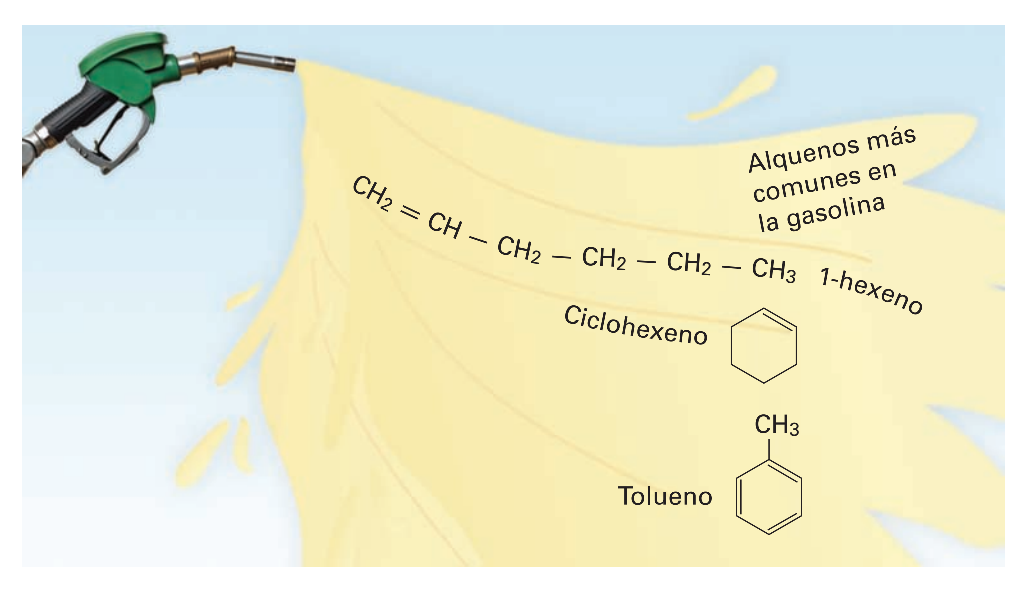


Figura 2.11 *Alquenos en la gasolina* En esta figura están dibujados los alquenos que se encuentran con más frecuencia en la gasolina.

Los alquenos constituyen, además, la materia prima para elaborar múltiples productos orgánicos artificiales.

El eteno o etileno ($CH_2{=}CH_2$) es un gas que se emplea también para acelerar la maduración de las frutas. También se emplea para formar el polímero llamado polietileno.

Los polímeros son macromoléculas formadas por una unidad fundamental a la que se le llama monómero, el que se repite cientos, miles o millones de veces. Si el monómero es de un solo tipo, las macromoléculas reciben el nombre de polímeros y si los monómeros son distintos se les llama *copolímeros*. Si el monómero se repite dos veces, el compuesto resultante es un *dímero*, si se repite tres es un *trimero* y, en general, si se repite pocas veces es un *oligómero*.

Investiga

Qué productos se fabrican con polímeros.

Los polímeros tienen propiedades físicas y químicas muy distintas a las de los cuerpos constituidos por moléculas sencillas. Los ácidos, hidróxidos y agentes atmosféricos no los atacan, son resistentes a la ruptura y al desgaste, son elásticos, fáciles de teñir de todos los tonos y colores; su densidad varía entre 0.9 y 1.5. Por todo lo anterior y por su obtención a bajas temperaturas, se pueden fabricar a gran escala.

Los polímeros han desplazado a otros productos naturales como son los metales, la porcelana, la madera, el hule, la seda y el algodón, entre otros, debido a su bajo costo.

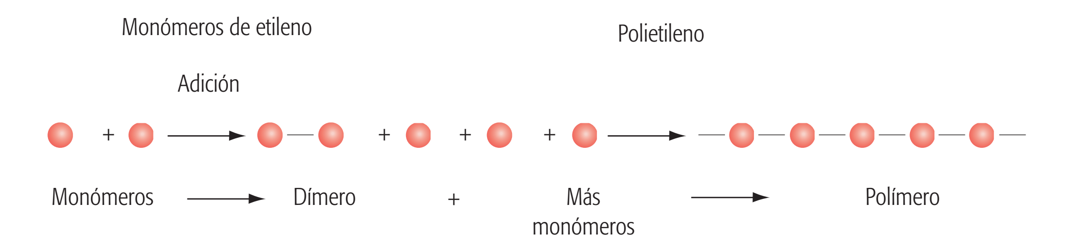


Figura 2.12 *Reacciones de adición* Los monómeros de etileno realizan una reacción de adición para formar el polietileno, material que se usa para hacer las bolsas de plástico, el material con el que se envuelven los alimentos y las botellas. El par de electrones extra del enlace doble de cada molécula de etileno se usa para formar un nuevo enlace con otro monómero.

Así como se hizo referencia al polietileno**,** en la figura 2.12, se puede hacer mención al polipropileno, polímero que proviene del alqueno llamado propeno o propileno ($CH_2{=}CH{-}CH_3$). El polipropileno se emplea para fabricar infinidad de artículos que se usan a diario, como algunas botellas, fibras para tapetes, válvulas, acumuladores, partes de aparatos domésticos, sogas, redes, etcétera.





Si reflexionas un poco te darás cuenta de los beneficios que obtienes al utilizar los artículos plásticos mencionados. Sin embargo, esto se revierte en tu propio perjuicio, ya que al convertirse en basura, los plásticos provocan daños ecológicos graves, pues no son biodegradables; es decir, no se descomponen en otras sustancias que puedan ser asimiladas por microorganismos y por tanto deben reciclarse.

Lectura Reciclaje de plásticos

En los últimos años la mayoría de los productos que se consumen se presentan en envases de material desechable reciclado, como plástico y vidrio. Por ejemplo, los refrescos, el agua, la carne, los lácteos, los vegetales precocidos, en fin, la lista es interminable.

El uso desmedido de estos materiales desechables de plástico y vidrio demanda contar con más terrenos para depositarlos, mismos que ya se están agotando. En muchas partes del mundo estos materiales se reciclan. Por desgracia, el reciclaje del plástico es más complicado que el de la mayoría de los otros materiales.

La gente separa la basura en diferentes categorías: desperdicios, papel, vidrio y plástico. Los desperdicios y el papel son biodegradables y el vidrio puede volver a usarse.

En los basureros se encuentran, por lo común, cinco tipos de plásticos. Éstos son: el polietileno, tanto de baja como de alta densidad, el politereftalato de etileno, el poliestireno, el policloruro de vinilo y el polipropileno.

El **polietileno** es el plástico de mayor uso. El polietileno de alta densidad (HDPE, por sus siglas en inglés) se usa para hacer recipientes rígidos, como son las botellas para jugos y para aceites domésticos y aceites para automóviles. El polietileno de baja densidad (LDPE, por sus siglas en inglés) se emplea para fabricar películas y bolsas de plástico.

El **politereftalato de etileno**, llamado PET (por sus siglas en inglés), se encuentra en recipientes rígidos, en especial para bebidas gaseosas. El **poliestireno** (PS, por sus siglas en inglés) es más conocido como una espuma con la que se hacen platos, vasos, y recipientes para alimentos, aunque en forma rígida se usa para hacer cuchillos de plástico, tenedores y cucharas. El **policloruro de vinilo** (PVC, por sus siglas en inglés) es un plástico duro que se usa en tuberías y en la construcción. También se encuentra en los recipientes para champús, aceites y productos domésticos. Finalmente, el **polipropileno** (PP, por sus siglas en inglés) tiene una gran variedad de usos, desde empaques de una ración para alimentos hasta estuches para baterías o el forro de los pañales desechables.

A esta variedad de plásticos se les han asignado códigos con números y siglas (en inglés) para ayudar a la gente a distinguir los plásticos y uniformar la comunicación. Los códigos resultan útiles para ordenar los plásticos y tomar una decisión respecto al método para reciclarlos. Además de contar con una composición química diferente, cada tipo de plástico tiene diferentes propiedades físicas, lo que determina su uso.

Los plásticos para reciclar Las botellas de refrescos de PET, así como los recipientes para leche y las botellas de agua de HDPE reciben la mayor atención porque son los que se recolectan y se separan con mayor facilidad. Las botellas de PET llevan otro proceso de reciclaje porque están hechas de varios materiales. Sólo el cuerpo de la botella es de PET. La base es HDPE, el tapón es de otro tipo de plástico o de aluminio y la etiqueta tiene adhesivos. Las botellas se cortan y se trituran en trozos muy pequeños para ser procesados. Los adhesivos se eliminan con detergentes fuertes. El HDPE, que es más ligero que el PET, se separa de él en agua porque uno se hunde y el otro flota.

El aluminio se separa electrostáticamente. Lo que queda son pequeños trozos de plástico, que se venden a los fabricantes, quienes los procesan para hacer otros plásticos. Sin embargo, se ha prohibido el uso de plástico reciclado en los recipientes para alimentos, lo que ha limitado el mercado de este plástico.

Código	Material
PET	Politereftalato de etileno
HDPE	Polietileno de alta densidad
PVC	Policloruro de vinilo
LDPE	Polietileno de baja densidad
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
EPS	Espuma de poliestireno

Adaptado de Phillips, Strozak, Wistrom, *Química. Conceptos y aplicaciones*, 2a. ed., México, McGraw-Hill Interamericana, 2007, p. 659.

2.3 Alquinos

Los hidrocarburos no saturados que tienen por lo menos un enlace triple reciben el nombre de **alquinos**. A estos compuestos también se les llama acetilénicos, ya que al primer término de esta serie se le da el nombre común de acetileno. Ve la **figura 2.13.**



Figura 2.13 *Gas acetileno ardiendo* El acetileno se forma por la reacción de carburo de calcio, CaC_2, con agua en el matraz. $CaC_2 + H_2O \rightarrow C_2H_2 + Ca(OH)_2$

Los alquinos se caracterizan porque en su molécula hay, cuando menos, dos átomos de carbono unidos con un enlace triple.

$$-C\equiv C-$$

Estructura molecular y nomenclatura de los alquinos

Las siguientes fórmulas de Lewis muestran los dos primeros alquinos:

$$H:C\vdots\vdots C:H \qquad H:C\vdots\vdots C:\overset{\displaystyle H}{\underset{\displaystyle H}{\overset{\cdot\times}{\underset{\cdot\times}{C}}}}:H$$

Este tipo de compuestos se representan con fórmulas desarrolladas de la siguiente manera:

$$H-C\equiv C-H \qquad H-C\equiv C-\overset{\displaystyle H}{\underset{\displaystyle H}{\overset{|}{\underset{|}{C}}}}-H$$

En el etino $CH\equiv CH$ (C_2H_2), la hibridación de los orbitales de los átomos de carbono es *sp* y la unión entre carbono y carbono con orbitales *sp*, es un enlace sigma. Para formar los otros dos enlaces, intervienen los electrones libres que hay en las orientaciones p_y y p_z, que formarán dos enlaces pi (π).

Para nombrarlos se procede de igual forma que en los alquenos, pero se sustituye la terminación *-eno* por *-ino*.

$CH\equiv CH$	Et*ino* (acetileno)
$CH\equiv C-CH_3$	Prop*ino* (metilacetileno)
$CH\equiv C-CH_2-CH_3$	1-But*ino* (etilacetileno)
$CH\equiv C-CH_2-CH_2-CH_3$	1-Pent*ino* (*n*-propilacetileno)
$CH\equiv C-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$	1-Hex*ino* (*n*-butilacetileno)

Ejercicio

2.22 Escribe la fórmula molecular de los siguientes alquinos:

Alquinos	Fórmula molecular
a) Etino	____________
b) Propino	____________
c) Butino	____________
d) Pentino	____________
e) Hexino	____________

Si observas las fórmulas, podrás darte cuenta de que en cada una de ellas el número de átomos de hidrógeno es el doble del de átomos de carbono menos dos.

La fórmula general de los alquinos es:

$$C_nH_{2n-2}$$

En estos compuestos también se presenta la isomería de posición.

Ejemplos:

$CH{\equiv}C{-}CH_2{-}CH_3$ 1-Butino (C_4H_6)
$CH_3{-}C{\equiv}C{-}CH_3$ 2-Butino (C_4H_6)

Ejercicio

2.23 Escribe el nombre de los siguientes alquinos:

a) $CH_3{-}C{\equiv}CH$ ____________________

b) $CH_3{-}CH_2{-}C{\equiv}CH$ ____________________

c) $CH_3{-}C{\equiv}C{-}CH_2{-}CH_3$ ____________________

d) $CH_3{-}CH_2{-}C{\equiv}C{-}CH_2{-}CH_3$ ____________________

e) $CH_3{-}CH_2{-}CH_2{-}C{\equiv}C{-}CH_3$ ____________________

Si en la molécula hay dos o más enlaces triples, se anteponen a la terminación *-ino* los prefijos *di-*, *tri-*, etcétera.

Observa los siguientes ejemplos:

$CH{\equiv}C{-}CH_2{-}C{\equiv}C{-}CH_2{-}CH_3$ 1,4-Heptadiino

$$CH_3{-}C{\equiv}C{-}CH_2{-}C{\equiv}C{-}\underset{\substack{|\\ CH_3}}{CH}{-}C{\equiv}C{-}CH_3$$ 4-Metil-2,5,8-decitriino

Propiedades físicas y químicas de los alquinos

- Los tres primeros alquinos son gaseosos en condiciones normales; del cuarto al decimoquinto son líquidos, y sólidos a partir del compuesto que tiene 16 átomos de carbono.
- Sus puntos de fusión y ebullición son más elevados que los de los alquenos correspondientes.
- Su densidad se incrementa conforme aumenta su peso molecular.
- Al igual que los alquenos, presentan reacciones de adición.

Los alquinos en la vida cotidiana

Al primer alquino de esta serie, llamado etino o acetileno, se usa en el soplete oxietilénico, que se utiliza en la soldadura y corte de metales (figura 2.14).

El etino es muy importante en los procesos de elaboración de productos sintéticos, como son hules, cueros artificiales, plásticos, entre otros.



Figura 2.14 *Observación del etino* Cuando está combinado con un exceso de oxígeno, el etino arde con una flama caliente. Por ello se utiliza en los sopletes para soldar o cortar metales.

2.4 Compuestos aromáticos

Antiguamente a los hidrocarburos cíclicos insaturados que desprendían ciertos olores agradables se les clasificaba dentro de la familia de compuestos aromáticos.



Figura 2.15 *Compuesto aromático* La canela es un hidrocarburo aromático.

En la actualidad se le llama *compuesto aromático* al que tiene un anillo de benceno y cuenta con características químicas similares a éste.

Estructura y representación del benceno

Si de cada uno de los átomos de carbono de la molécula del ciclohexano

CH_2
CH_2 CH_2
CH_2 CH_2
CH_2

se elimina un átomo de hidrógeno

CH
CH CH
CH CH
CH

y los carbonos se unen con enlaces dobles en forma alternada, quedaría como se muestra en seguida:

CH
CH CH
CH CH
CH

Este compuesto recibe el nombre de benceno y es el más importante de los hidrocarburos cíclicos insaturados.

El **benceno** es un líquido volátil, incoloro e inflamable; es insoluble en agua y menos denso que ella. Se disuelve en alcohol, acetona, éter, y otros disolventes orgánicos. Es de olor fuerte no desagradable, hierve a 80.1 °C y se funde a 5.4 °C.

Para representar la molécula de benceno se han propuesto varias estructuras. Por mucho tiempo fue aceptada la de Kekulé (1825-1896):

H
C
H C C H
C C
H C H
H

Esta estructura ha sido refutada, ya que su estructura de enlaces dobles alternados daría un compuesto inestable, lo que contrasta con la gran estabilidad química del benceno. Además, esta estructura tendría por consecuencia que, de sustituirse dos hidrógenos de dos carbonos continuos, por ejemplo, por un metilo, se obtuviesen dos isómeros, como se muestra a continuación.

CH_3
C CH_3
CH C
CH CH
CH

Carbonos sustituidos, unidos entre sí por un enlace sencillo

y

CH_3
C CH_3
CH C
CH CH
CH

Carbonos sustituidos, unidos entre sí por un enlace doble

Esta isomería, en realidad, no existe: todos los carbonos del benceno son equivalentes.

Recuerda que en un enlace doble existe un enlace sigma (σ) y un enlace pi (π). Se ha aceptado, para explicar la estabilidad química del benceno y la equivalencia de sus enlaces carbono-carbono, que los electrones de los orbitales pi (π) se encuentran deslocalizados, es decir, son compartidos por todos los átomos de carbono del benceno.

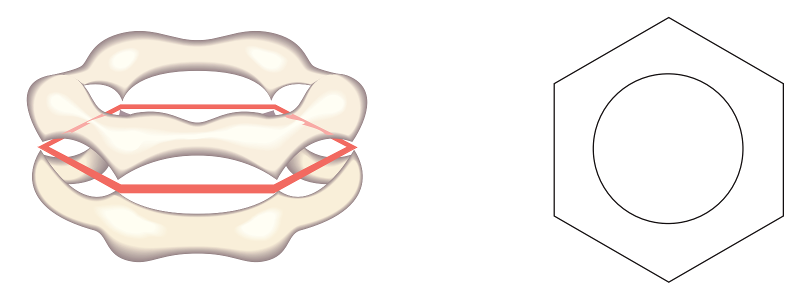


Figura 2.16 *La estructura del benceno a*) La molécula del benceno, plana, se representa por medio de nubes de electrones pi compartidos por arriba y por abajo del plano del anillo. *b*) El diagrama hexagonal es una representación abreviada. En este hexágono cada ángulo representa un átomo de carbono. El círculo en el centro de la estructura simboliza la nube de seis electrones pi que son compartidos de igual forma por los seis átomos de carbono de la molécula.

¿Sabías que...?

La hulla es el combustible fósil formado por los restos de plantas que quedaron enterrados bajo el agua y se vieron sometidos a gran presión en la medida que se conformaron las capas de lodo. Este combustible se encuentra en abundancia en Estados Unidos, y se obtiene en minas profundas o superficiales. La hulla está constituida, en su mayoría, por carbono, además de muchas impurezas minerales. Su uso principal es como combustible y como fuente de hidrocarburos aromáticos.

Se sobreentiende que en cada vértice del hexágono hay un átomo de carbono unido a dos átomos de carbono y uno de hidrógeno:

Nomenclatura de la IUPAC para los derivados mono, *di* y *tri* sustituidos del benceno

Para nombrar a los derivados monosustituidos del benceno se indica el nombre del sustituyente seguido de la palabra benceno. De acuerdo con la IUPAC, en primer lugar se da el nombre de fenil, que es el radical que se obtiene al eliminar un átomo de hidrógeno al benceno, en seguida se nombra el hidrocarburo del que proviene el sustituyente.

Los nombres comunes no siguen ninguna regla.

Fenilmetano (IUPAC)
Tolueno (común)
Metilbenceno (aceptado)

CH_3

Fenileteno (IUPAC)
Estireno (común)
Vinilbenceno (aceptado)

CH_2
CH

Fenilisopropano (IUPAC)
Cumeno (común)
Isopropilbenceno (aceptado)

CH_3 CH_3
CH

Cuando hay dos sustituyentes en el anillo bencénico, se pueden formar tres isómeros estructurales. Para nombrarlos se numeran los carbonos del anillo de benceno y, en forma común, a la posición 1,2 se le llama *orto* (o), a la 1,3 *meta* (m) y a la 1,4 *para* (p).

1
6 2
5 3
4

R R R
R
R
R

1,2 *orto* (o) 1,3 *meta* (m) 1,4 *para* (p)

Cuando hay radicales alquilo u otros grupos como sustituyentes, los carbonos del benceno se numeran empezando en el carbono al que están unidos los radicales; se jerarquizan de los más sencillos a los más complejos. Los ejemplos siguientes ilustran lo anterior.

CH_3 CH_3
CH_3
CH_3

1,2-Dimetilbenceno
o-dimetilbenceno
o-xileno

1,3-Dimetilbenceno
m-dimetilbenceno
m-xileno

CH_3
CH_3

1,4-Dimetilbenceno
p-dimetilbenceno
p-xileno

Para los derivados trisustituidos se numera el anillo bencénico:

1,3,5-Triclorobenceno   2,4,6-Trinitrotolueno

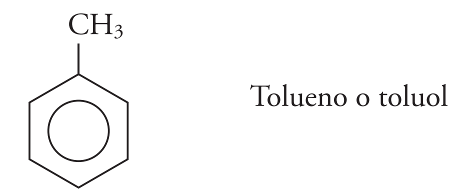
El benceno y sus derivados en la vida cotidiana

El benceno es el principal representante de los compuestos aromáticos. Se obtiene mediante la destilación fraccionada de alquitrán de hulla y se emplea como disolvente de resinas, grasas y aceites; es tóxico y resulta peligroso al estar expuesto a sus vapores.

La importancia del benceno radica en la enorme cantidad de sus derivados. Se considera materia clave en la industria química, ya que se emplea para producir detergentes, materias colorantes, insecticidas, productos farmacéuticos, plásticos, perfumes, entre otros.

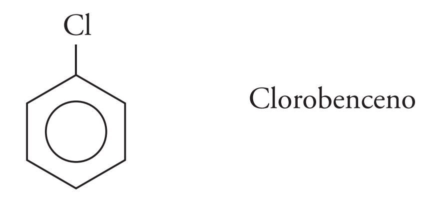
Entre sus derivados se mencionan los siguientes:

a) El *tolueno*. También se llama *metilbenceno* o *fenilmetano,* y se emplea en la fabricación de explosivos y colorantes.



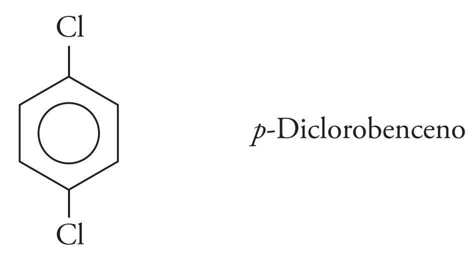
Tolueno o toluol

b) El *clorobenceno* o *cloruro de fenilo* es un líquido incoloro de olor agradable, se emplea en la fabricación del fenol y del DDT.



Clorobenceno

c) El *paradiclorobenceno* es un sólido blanco muy volátil que se emplea en veterinaria para elaborar ungüento antiséptico y antiparasitario, además de que se usa para combatir plagas agrícolas, contra la polilla, para conservar pieles, y para elaborar pastillas desodorantes de sanitarios, entre otros usos.



p-Diclorobenceno

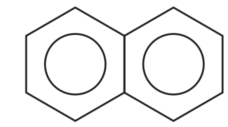
d) Los *xilenos* o *dimetilbencenos* se emplean como disolventes y en la fabricación de colorantes y lacas.

Xilenos

CH_3 CH_3 CH_3 CH_3 CH_3 CH_3

o *m* *p*

e) Al *naftaleno* se le conoce vulgarmente como naftalina, y se emplea en la fabricación de germicidas y parasiticidas y también se usa para combatir la polilla.



Naftaleno

Lectura Las termitas y el naftaleno

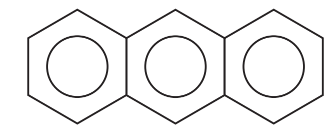
Hace muchos años las mujeres conservaban en cajas cerradas sus mejores prendas de vestir, en las cuales colocaban bolitas de naftalina, producto químico empleado para evitar que la polilla dañara sus prendas de lana.

Pero ¿cómo surge esta sustancia? Se desconoce el origen del naftaleno, quizá sea un metabolito de alguna fuente alimenticia de las termitas o se produzca a partir del cartón por organismos presentes en el nido. Las termitas son insectos que además de primitivos, se les considera destructivos.

Greg Henderson y Jian Chen, del Centro Agrícola de la Universidad Estatal de Louisiana, en Baton Rouge, Estados Unidos, observaron que las termitas de Formosa son inusitadamente resistentes al naftaleno. De hecho, estos insectos construyen sus galerías subterráneas a partir de madera masticada y pegada con saliva y excremento. Este "pegamento" (llamado *cartón*) contiene cantidades significativas de naftaleno, el que se evapora y permea el aire de los túneles subterráneos. Sin importar la fuente del naftaleno, este interesante ejemplo indica de qué manera algunos organismos emplean la química para protegerse a sí mismos.

Adaptado de Zumdahl, Steven S., *Fundamentos de Química*, 5a. ed., México, McGraw-Hill Interamericana, 2007, p. 597.

f) El *antraceno* se usa más en la industria de colorantes, sin embargo también se emplea para impregnar postes y durmientes de ferrocarril para protegerlos del ataque de insectos y agentes atmosféricos.

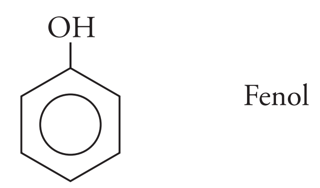


Antraceno



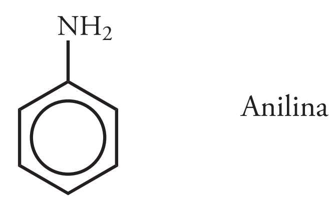
Figura 2.17 *Explosivos que contienen nitrógeno* La dinamita y el TNT (trinitrotolueno) son explosivos nitrogenados que se utilizan para volar rocas en la construcción de caminos o para demoler con eficiencia viejas construcciones.

g) El *trinitrotolueno*, que en forma abreviada se le llama trilita, es uno de los explosivos más potentes (figura 2.17).



Trinitrotolueno (TNT)

h) El *fenol* es conocido también con los nombres de *ácido fénico* y *ácido carbólico*. Se emplea para preparar medicamentos, perfumes, plásticos, fibras textiles artificiales, también para refinar petróleo, fabricar colorantes, detergentes, insecticidas y herbicidas; se usa además para tratar irritaciones de la garganta en forma de aerosol. Es venenoso en altas concentraciones.



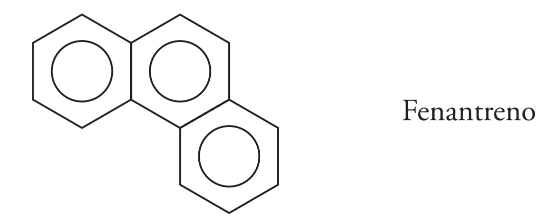
Fenol

i) La *anilina* recibe el nombre de *fenilamina* o *aminobenceno* y es la amina bencénica más importante. A partir de ella se fabrican múltiples colorantes utilizados en la industria de tejidos. La anilina pura es un compuesto tóxico.

NH_2

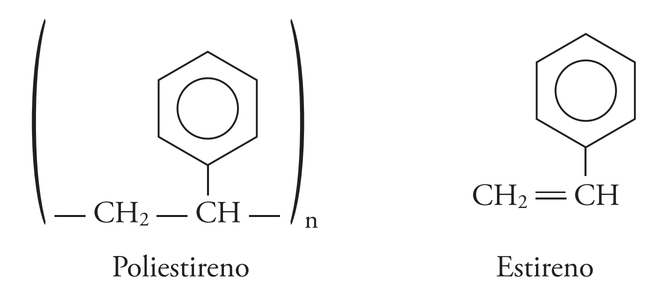
Anilina

j) El *fenantreno* no tiene mucha importancia industrial, pero sí en la biología, ya que se relaciona con la colesterina y las hormonas sexuales.



Fenantreno

k) El *poliestireno* es un material artificial cuyo monómero es el estireno (fenileteno o vinilbenceno).



Poliestireno

Estireno

El *poliestireno* se usa para fabricar vasos desechables, ganchos para ropa, partes de radio y televisión, nieve seca y tazas cafeteras. En su forma rígida se emplea para elaborar tenedores, cucharas y cuchillos desechables.

Palabras clave

Lo que aprendí

1. ¿Qué compuestos reciben el nombre de hidrocarburos?

____

____

2. ¿A qué compuestos se les llama alcanos?

____

____

3. ¿Cómo se definen los alcanos lineales?

____

____

4. Representa, con fórmulas de Lewis, el alcano de fórmula C_2H_6.

5. ¿Por qué a los alcanos también se les llama parafinas?

____

____

6. Escribe la fórmula general de los alcanos.

____

____

7. Escribe los nombres de los siguientes radicales alquilo.

$CH_3—CH_2—$ ______________________

$CH_3—CH_2—\underset{|}{CH}—CH_3$ ______________________

$CH_3—\overset{\overset{CH_3}{|}}{\underset{|}{C}}—CH_3$ ______________________

8. ¿A qué se le llama carbono terciario?

____

____

9. Escribe las fórmulas semidesarrolladas de tres isómeros del C_7H_{16}.

10. ¿Qué son los cicloalcanos?

____

____

11. ¿Por qué los cicloalcanos reciben también el nombre de hidrocarburos polimetilénicos?

____

____

12. Escribe los nombres de los siguientes hidrocarburos.

a) $CH_3—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_3$

____

b)

```
                  CH3                 CH3
                   |                   |
              CH3 CH2                 CH — CH3
               |   |                   |
CH3 — CH2 — C — CH — CH2 — CH — CH — CH — CH3
               |                |          |
       CH3 — C — CH3           CH — CH3   CH3
               |                |
              CH3              CH2
                                |
                               CH3
```

____

c) $CH_3—CH_3$ ___________________________

d) $CH_3—CH_2—CH_2—CH_2—CH_3$

____

e)

```
        CH3
         |
CH3 — CH — CH — CH3
              |
             CH3
```

____

f)

```
        CH3
         |
CH3 — CH — CH2 — CH — CH2 — CH2 — CH3
                   |
                  CH2 — CH3
```

____

g)

```
CH3
 |
CH2 — CH2 — CH2 — CH2
                   |
                  CH2 — CH3
```

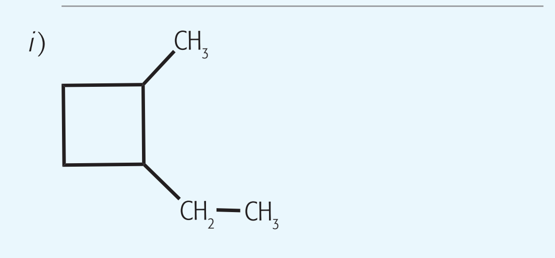
____

h)

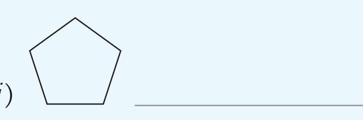
```
CH3                 CH3
 |                   |
CH — CH2 — CH — CH2
 |            |
CH3          CH3
```

____

i)



____

j)  ___________________________

13. Escribe las fórmulas semidesarrolladas de los siguientes compuestos:

a) Propano ___________________________

b) Butano ___________________________

c) Nonano ___________________________

d) 2,3-Dimetilhexano ___________________________

e) 2,3-Dimetilbutano ___________________________

f) 4-Isopropil-2-metilheptano ___________________________

g) 3-Etil-3,5-dimetiloctano ___________________________

14. Utilizando fórmulas geométricas simplificadas, representa los siguientes compuestos.

a) Ciclopropano

b) 1-Etil- 2,4-dimetilciclohexano

c) Etilciclobutano

d) 1,3,5-trimetilciclohexano

15. Escribe la fórmula general de los alquenos.

16. ¿Qué caracteriza a las moléculas de los hidrocarburos llamados alquenos?

17. Con estructuras de Lewis escribe la fórmula del 1-buteno.

18. Escribe las fórmulas que se indican:

a) *cis*-2-penteno

b) *trans*-3-hepteno

19. *a*) ¿Qué indica la regla de Markovnikoff?

b) Escribe un ejemplo:

20. Escribe el nombre de dos clases de hidrocarburos que tengan la fórmula general C_nH_{2n-2}.

21. ¿Qué nombre reciben los hidrocarburos insaturados en cuyas moléculas existen enlaces triples entre carbono y carbono?

22. ¿Cómo se obtiene el etino y cuál es su nombre común?

23. ¿Qué nombre recibe el compuesto más importante de los hidrocarburos cíclicos insaturados?

24. ¿Cómo se representa gráficamente el benceno?

25. Escribe los usos más importantes de los siguientes compuestos.

a) urea

b) tolueno

c) *p*-clorobenceno

d) naftaleno

e) antraceno

f) fenol

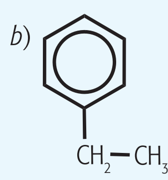
g) anilina

h) poliestireno

26. Escribe el nombre de los siguientes compuestos e indica además si se trata de un alqueno, cicloalqueno, alquino o compuesto aromático.

a) $CH_3—C≡CH$

b)



c) $CH_3—CH_2—CH=CH_2$

d)

e) $CH_2=CH—CH_2—CH(CH_3)—CH(CH_3)—CH_3$

f) $CH_3—C≡C—CH(CH_2—CH_3)—C≡C—CH(CH_3)—CH(CH_3)—CH_2—CH_3$

g)

CH_3

CH_2 — CH_3

CH_3

____

____

27. Escribe la fórmula de los siguientes compuestos:

a) eteno

b) ciclobutadieno

c) 2-butino

d) *trans*-3-hexeno

e) 1-Metilciclopropeno

f) etilbenceno

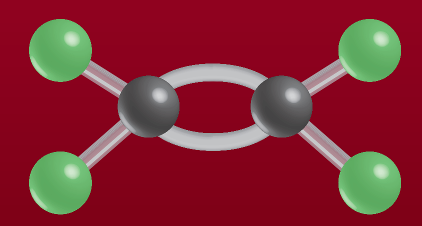
g) *p*-xileno

h) 1,3,5-trimetilbenceno

Unidad 3

Grupos funcionales I: derivados halogenados, alcoholes, aldehídos, cetonas y éteres

Los polímeros son moléculas grandes formadas por muchas partes más pequeñas llamadas *monómeros*. El polímero de teflón se usa, entre otras cosas, para recubrir sartenes, y dado que no es reactivo los alimentos no se pegan en él.



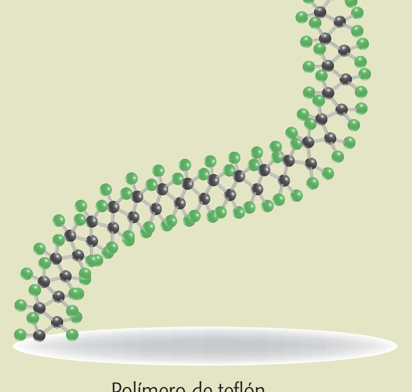
Tetrafluoroetileno
(monómero)



Contenido

Objetivo de la unidad

Al concluir la unidad el alumno identificará la formación, estructura molecular y grupo funcional de los compuestos citados, además de su nomenclatura. También identificará las propiedades físicas y químicas y usos principales de algunos compuestos representativos.

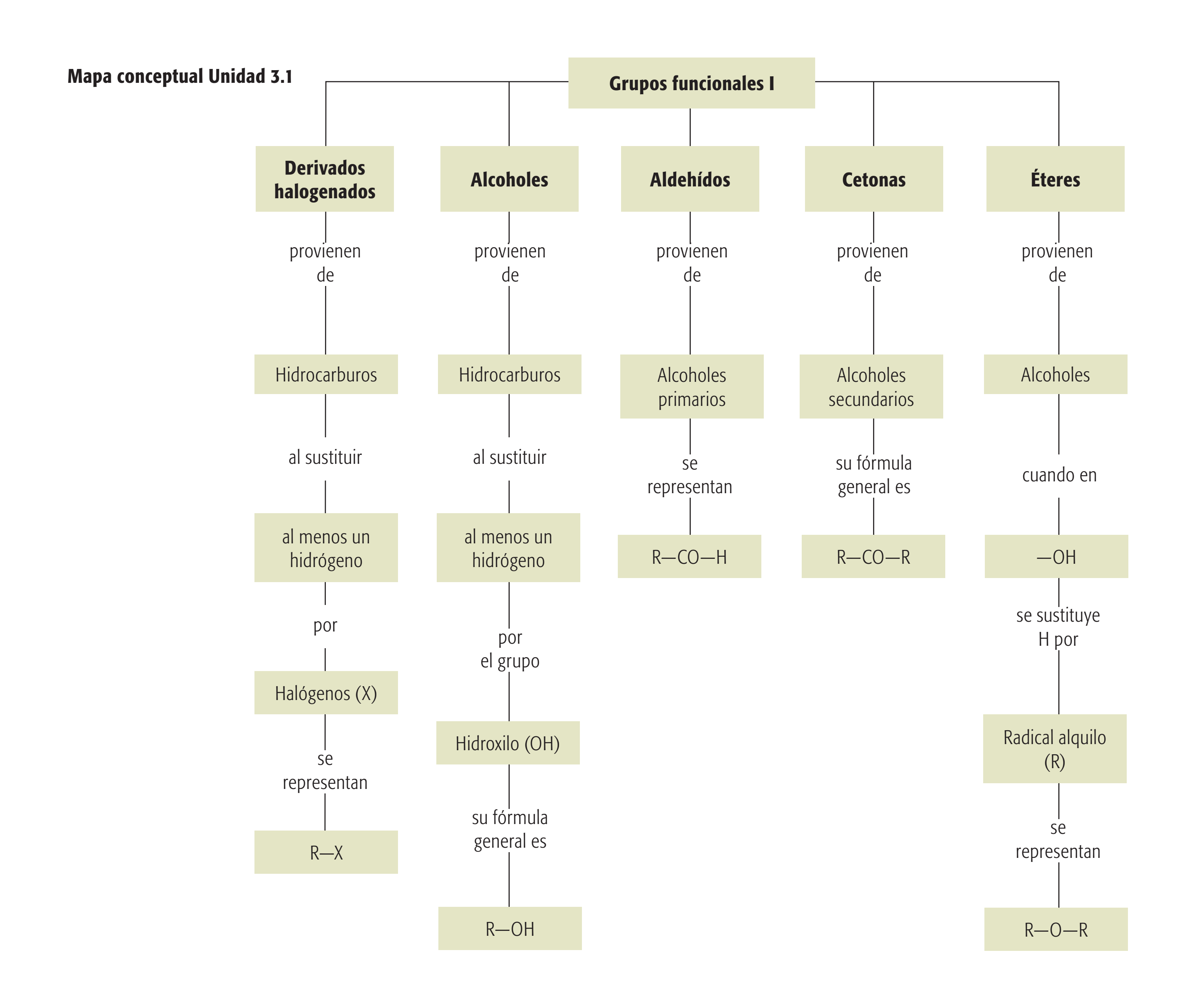


Polímero de teflón

¿Cuánto sabes?

1. ¿Qué entiendes por sustitución?
2. Menciona el nombre de dos halógenos.
3. ¿Qué nombre recibe el grupo –OH?
4. ¿Cómo se forma un radical alquilo (R)?
5. ¿Cuándo se dice que un hidrocarburo es saturado?
6. ¿A qué se llama carbono secundario?
7. ¿Cuál es el nombre de la sustancia que se emplea para quitar el esmalte de las uñas?
8. ¿Cuáles son los constituyentes de los clorofluorocarbonos (CFC)?

Mapa conceptual Unidad 3.1



Introducción

La gran mayoría de las moléculas orgánicas contienen otros elementos además de carbono e hidrógeno. Sin embargo, pueden considerarse como derivados de hidrocarburos, esto es que son fundamentalmente hidrocarburos que tienen átomos adicionales, o grupos de átomos denominados **grupos funcionales**.

Un grupo funcional es un conjunto de átomos ordenados de una manera determinada, que tienen cierta reactividad asociada y que, al estar presentes en una molécula, le imprimen a ésta propiedades comunes que caracterizan a un conjunto de sustancias con estructura análoga.

En esta unidad se estudiarán los siguientes grupos funcionales derivados halogenados, alcoholes, aldehídos, cetonas y éteres.

3.1 Derivados halogenados

Los **derivados halogenados** de los hidrocarburos se obtienen al sustituir uno o más hidrógenos por uno o más halógenos. Por tanto, estos compuestos contienen sólo carbono, hidrógeno y uno o más halógenos (flúor, cloro, bromo, yodo).

La reacción mediante la cual se obtienen derivados halogenados a partir de alcanos se denomina *reacción de sustitución*, y ocurre cuando un átomo o grupo de átomos sustituye a otro. Cuando el reemplazo lo hace uno o más halógenos, recibe el nombre de **halogenación**.

Estructura y grupo funcional de los derivados halogenados

Los halógenos (F, Cl, Br, I) se representan con la letra X. Su grupo funcional es —X y su representación general R—X. Debido a que los halógenos tienen siete electrones de valencia, su estructura electrónica es:

$$R:\ddot{\underset{..}{X}}:$$

¿Sabías que...?

Los radicales alquilo se representan con la letra R.

Derivados monohalogenados y polihalogenados

Los derivados halogenados se dividen en derivados *monohalogenados* y *polihalogenados*, de acuerdo con su número de átomos de halógeno. Los derivados monohalogenados de los hidrocarburos saturados reciben el nombre de **halogenuros de alquilo.**

```
    H   H              H   H
    |   |              |   |
H — C — C — H      H — C — C — Cl
    |   |              |   |
    H   H              H   H
```

Hidrocarburo saturado — Halogenuro de alquilo

Los **derivados monohalogenados** pueden ser primarios, secundarios o terciarios, según sea el átomo de carbono donde se sustituya el hidrógeno por el halógeno.

```
    H   H   H
    |   |   |
H — C — C — C — F
    |   |   |
    H   H   H
```

Primario
(el halógeno está unido a un carbono primario)

```
    H   H   H
    |   |   |
H — C — C — C — H
    |   |   |
    H   Br  H
```

Secundario
(el halógeno está unido a un carbono secundario)

```
    H   Cl  H
    |   |   |
H — C — C — C — H
    |   |   |
    H   |   H
    H — C — H
        |
        H
```

Terciario
(el halógeno está unido a un carbono terciario)

De acuerdo con la IUPAC, para nombrar a los halogenuros de alquilo primarios, en principio se menciona el halógeno (X) correspondiente y luego el hidrocarburo:

$CH_3—Cl$	Clorometano
$CH_3—CH_2—Br$	Bromoetano

La nomenclatura trivial para estos compuestos sería cloruro de metilo y bromuro de etilo.

Para nombrar a los halogenuros de alquilo secundarios y terciarios, se sigue el mismo procedimiento usado en el caso de los alcanos ramificados.

```
 4      3      2    1
CH3 — CH2 — CH — CH3
             |
             Cl
```

2-Clorobutano

```
          CH3
 1        |2     3
CH3 — C — CH3
          |
          Br
```

2-Bromo-2-metilpropano

En los **derivados polihalogenados** la molécula cuenta con dos o más átomos de halógeno; se anteponen los prefijos *di-* (2), *tri-* (3), según sea su número.

$CH—Cl_3$	Triclorometano (cloroformo)
$CH_2—CH_2$ (con Cl en cada carbono)	1,2-Dicloroetano (cloruro de etileno)
$CH_2—Cl_2$	Diclorometano (cloruro de metileno)
$CHCl_2—CHF_2$	1,1-Dicloro-2,2-difluoretano (freón 12)

Si en la molécula hay dos o más halógenos distintos, se nombran en orden alfabético: bromo, cloro, flúor, yodo.

$$\begin{array}{ccccccccccccc} & & & & & & CH_3 & & CH_3 & & & & \\ & & & & & & | & & | & & & & \\ CH_3 & - & CH & - & CH & - & CH & - & CH & - & CH_2 & - & Cl \\ & & | & & | & & & & & & & & \\ & & F & & Br & & & & & & & & \end{array}$$

4-Bromo-1-cloro-5-fluoro-2,3-dimetilhexano

$$\begin{array}{ccccccccccccc} & & & & & & & & F & & & & \\ & & & & & & & & | & & & & \\ Br & - & CH_2 & - & CH & = & C & - & CH & - & CH_2 & - & CH_3 \\ & & & & & & | & & & & & & \\ & & & & & & I & & & & & & \end{array}$$

1-Bromo-4-fluoro-3-yodo-2-hexeno

Propiedades físicas y químicas de los derivados halogenados

A continuación encontrarás las propiedades de dos derivados halogenados importantes: el cloroetano y el cloroformo.

El **cloroetano** es un líquido incoloro que se transforma en gas a los 12°C. Por su parte, el **cloroformo** es un líquido incoloro de sabor dulce y olor sofocante, es muy soluble en alcohol y poco soluble en agua.

Otra propiedad física general de estos derivados es su estado físico. A temperatura ambiente son gases: el fluorometano ($CH_3—F$), el clorometano ($CH_3—Cl$), el bromoetano ($CH_3—CH_2—Br$), el fluoroetano ($CH_3—CH_2—F$), el cloroetano ($CH_3—CH_2—Cl$), el fluoruro de vinilo ($CH_2═CH—F$) y el cloruro de vinilo ($CH_2═CH—Cl$); los demás derivados halogenados son líquidos o sólidos. Con respecto a la densidad, ésta disminuye según el halógeno que contengan en el siguiente orden: yodo, bromo, cloro, flúor, siempre que la molécula tenga el mismo número de átomos de carbono.

En el cuadro 3.1 se observa que cuando se trata del mismo halógeno, la densidad disminuye si en la molécula hay más átomos de carbono.

Cuadro 3.1 Densidades de algunos derivados halogenados.

Derivado halogenado	Densidad (g/cm³)
$CH_3–I$	2.279
$CH_3–Br$	1.732
$CH_3–Cl$	0.920
$CH_3–CH_2–I$	1.933
$CH_3–CH_2–Br$	1.430
$CH_3–CH_2–Cl$	0.910

Fuente: Xorge Alejandro Domínguez, *Química orgánica fundamental*, México, ITESM, p. 69.

Los fluoruros y cloruros son menos pesados que el agua, mientras que los bromuros y yoduros son más pesados que esta sustancia. Todos los derivados halogenados son insolubles en agua.

Entre las propiedades químicas de los derivados halogenados se puede citar que cuando los halogenuros de alquilo (R—X) reaccionan con hidróxido de sodio o potasio en solución acuosa se forman **alcoholes**, debido a la sustitución del halógeno por el radical (—OH).

$$CH_3—Cl + KOH \longrightarrow CH_3—OH + KCl$$

$$CH_3—CH_2—I + NaOH \longrightarrow CH_3—CH_2—OH + NaI$$

$$CH_3—\underset{\displaystyle Br}{\underset{|}{CH}}—CH_3 + KOH \longrightarrow CH_3—\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH}}—CH_3 + KBr$$

Ejercicios

3.1 Completa las siguientes ecuaciones:

- $CH_3—Br + NaOH \longrightarrow$ __________ + __________
- $CH_3—\underset{\displaystyle Cl}{\underset{|}{CH}}—CH_3 + KOH \longrightarrow$ __________ + __________

3.2 Mediante la acción del calor, los derivados halogenados forman un alqueno y el hidrácido correspondiente.

- $CH_3—CH_2—Br \longrightarrow CH_2{=}CH_2 + HBr$
- $CH_3—CH_2—Cl \longrightarrow$ __________ + __________

3.3 Mediante la síntesis de Wurtz, los halogenuros de alquilo reaccionan con sodio (Na) y con Zinc (Zn) produciendo hidrocarburos.

$$2CH_3—Cl + 2Na \longrightarrow 2NaCl + CH_3—CH_3$$

- $CH_3—Br + Zn \longrightarrow$ __________ + __________

3.4 También producen alcanos al reaccionar con hidrógeno.

$$CH_3—CH_2—Br + H_2 \longrightarrow HBr + CH_3—CH_3$$

- $CH_3—CH_2—CH_2—Cl \longrightarrow$ __________ + __________

3.5 Con amoniaco (NH_3) producen sustancias llamadas aminas ($R—NH_2$).

$$CH_3—CH_2—Cl + NH_3 \longrightarrow HCl + CH_3—CH_2—NH_2$$

- $CH_3—CH_2—CH_2—F + NH_3 \longrightarrow$ __________ + __________

Los derivados halogenados en la vida cotidiana

Clorometano ($CH_3—Cl$) es un gas que se usa como refrigerante.

Diclorometano ($CH_2—Cl_2$) es un líquido que era usado para descafeinar el café.

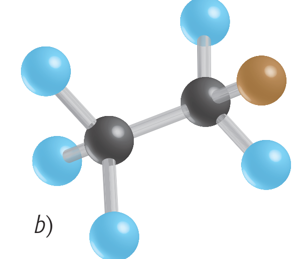
Triclorometano ($CH—Cl_3$) su nombre común es cloroformo, y antiguamente se usaba como anestésico durante las intervenciones quirúrgicas.

Tetraclorometano (CCl_4) conocido como tetracloruro de carbono, es un líquido que se empleaba para lavar la ropa en seco y para extinguir el fuego.

Cloroetano ($CH_3—CH_2—Cl$) se usa como anestésico local, como refrigerante, en la síntesis de la celulosa, para fumigar y como disolvente de grasas, fósforo, etcétera (figura 3.1).

```
   H   H
   |   |
H—C—C—Cl
   |   |
   H   H
```

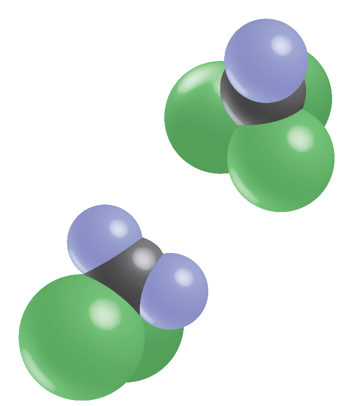
a)



b)

Figura 3.1 *Cloroetano a*) Fórmula desarrollada. *b*) Modelo molecular.

Diclorodifluormetano ($CCl_2—F_2$) más conocido como **freón**, es el gas empleado para enfriar en los refrigeradores. El freón es el más común de los compuestos llamados clorofluorocarbonos (CFCs), éstos últimos, como su nombre lo indica, contienen en su molécula átomos de cloro y flúor unidos al carbono (figura 3.2).



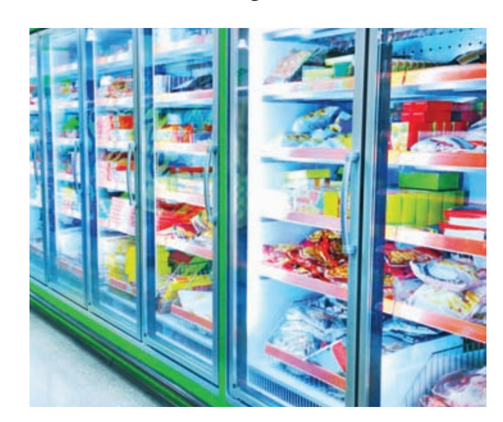


Figura 3.2 *Freón* Es usado como refrigerante de refrigeradores y aire acondicionado. También se utiliza como agente sellante en la espuma de poliuretano.

Los clorofluorocarbonos se usaron mucho en aerosoles, como disolventes, refrigerantes y para fabricar objetos con espumas plásticas (figura 3.3). Su uso se ha reducido a partir de 1987, ya que en 1985 los investigadores observaron que reaccionaban con el ozono que forma una capa protectora en la atmósfera superior que sirve de escudo contra los rayos ultravioleta causantes de quemaduras, cataratas y cáncer de la piel.





Figura 3.3 *Clorofluorocarbonos* Su estabilidad química ha provocado que se acumule en la alta atmósfera, lo que ha traído como consecuencia la destrucción de la capa protectora de ozono.

¿Sabías que...?

El neopreno, sustancia artificial, presenta propiedades análogas e incluso superiores a las del caucho natural.

$H_2C═CH—CCl═CH_2$

cloropreno

```
( —CH2      H   )
(     \    /    )
(      C—C      )
(     /    \    )
(   Cl      CH2 )
```

policloropreno
(neopreno)

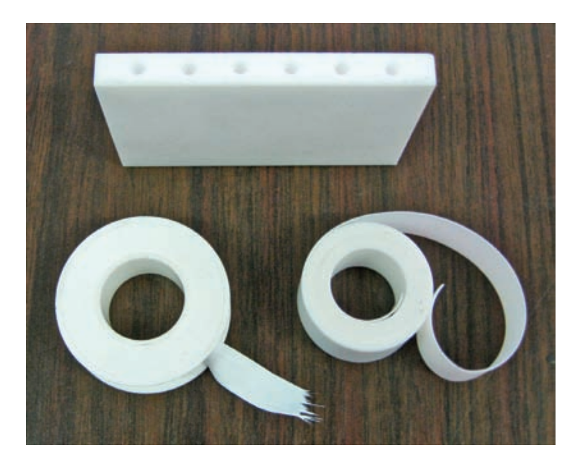


Figura 3.4 *Teflón* El teflón es capaz de soportar temperaturas de hasta 300 °C, por periodos prolongados y sin sufrir daño alguno.

Tetrafluoretileno ($CF_2{=}CF_2$) es el monómero que sirve para producir el politetrafluoretileno $(—CF_2—CF_2–)_n$, polímero comúnmente conocido como *teflón*, y que se encuentra en artículos de cocina, mangueras y tubos y también en pinturas y barnices. Uno de los usos más sorprendentes del teflón es su uso en la fabricación de revestimientos para aviones y naves espaciales, debido a su enorme resistencia a altas temperaturas (figura 3.4).

Cloroeteno o cloruro de vinilo ($CH_2{=}CH—Cl$) es el monómero del cloruro de polivinilo conocido como PVC, por sus siglas en inglés.

$$(—CH_2—\underset{\displaystyle Cl}{\underset{|}{CH}}—)_n$$

El cloroeteno o cloruro de vinilo se utiliza para elaborar recubrimientos, empaques, mosaicos, tubería, suela de zapatos, juguetes, vasos, etcétera (figura 3.5). Ha sido identificado como agente cancerígeno porque provoca cáncer hepático; quienes trabajan con esta sustancia deben acatar reglas de seguridad muy estrictas.

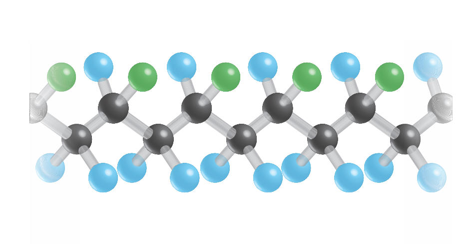




Figura 3.5 *Policloruro de vinilo, PVC* En la mayoría de las construcciones de casas y edificios, así como en la industria, se han sustituido los tubos de cobre por los de PVC para la conducción del agua potable y el drenaje.

Lectura — La química se está transformando en verde

Una silenciosa revolución se está llevando a cabo en toda la química, desde los laboratorios académicos hasta las compañías más importantes. La denominación "química verde" significa la minimización de desperdicios riesgosos, sustitución de los disolventes orgánicos tradicionales por agua y otras sustancias más amigables hacia el entorno, así como manufactura de productos con material reciclable.

Un buen ejemplo de química verde es el empleo cada vez más frecuente del dióxido de carbono, uno de los subproductos del uso de combustibles fósiles. Por ejemplo, algunas compañías del mundo utilizan en la actualidad CO_2 en vez de clorofluorocarbonos (CFCs, sustancias que se sabe catalizan la descomposición del ozono protector de la estratósfera) para impartir "calidad esponjosa" a los cartones de huevo, fabricados con poliestireno, a las charolas para carne y a las cajas para hamburguesas. Una aplicación muy prometedora del dióxido del carbono es para remplazar el disolvente percloroetileno

$$\left(\text{PERC; } Cl_2C{=}CCl_2\right)$$

utilizado en la actualidad en la mayoría de las tintorerías.

La exposición crónica al PERC se ha relacionado con daños renales, hepáticos y cáncer. Aunque el PERC no constituye un riesgo para los clientes (muy poco PERC se adhiere a las prendas lavadas en seco), representa una preocupación importante para los empleados que trabajan en la industria de la tintorería. A alta presión el CO_2 es un líquido que al usarse con los detergentes adecuados, se transforma en un disolvente muy eficaz de la tierra que se acumula en las telas de lavado en seco. Cuando se reduce la presión, el CO_2 cambia de inmediato a forma gaseosa, de manera que las prendas se secan con rapidez sin necesidad de agregar calor. Este gas se condensa para utilizarse nuevamente en el siguiente lote de ropa.

La buena noticia es que la química verde tiene sentido desde el punto de vista económico. Al tomar en cuenta todos los costos, la química verde también es la más económica. Con este tipo de procesos, todos ganan.



Adaptado de Zumdahl, Steven S., *Fundamentos de Química*, 5a. ed., México, McGraw-Hill Interamericana, 2007, p. 426.

3.2 Alcoholes

Los alcoholes se forman cuando se sustituye en los hidrocarburos uno o más átomos de hidrógeno por uno o más grupos hidroxilo (—OH).

$$\begin{array}{c} H \\ | \\ H-C-H \\ | \\ H \end{array} \longrightarrow \begin{array}{c} H \\ | \\ H-C-OH \\ | \\ H \end{array}$$

$$CH_3-CH_3 \longrightarrow CH_3-CH_2-OH$$

$$CH_3-CH_2-CH_3 \longrightarrow \begin{array}{c} CH_3-CH-CH_3 \\ | \\ OH \end{array}$$

Estructura y grupo funcional de los alcoholes

La función alcohol es —OH y su representación R—OH.

Alcoholes primarios, secundarios y terciarios

Cuando sólo es sustituido un átomo de hidrógeno por un radical hidroxilo (—OH), los alcoholes pueden ser primarios, secundarios o terciarios, según sea el átomo de carbono donde ocurra la sustitución.

```
   H   H
   |   |
H—C—C—OH
   |   |
   H   H
```

Alcohol primario
(el —OH está unido a un carbono primario)

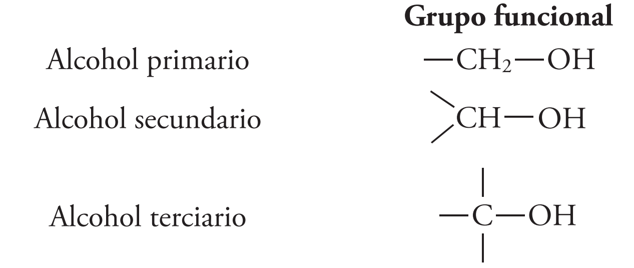
```
   H   H   H
   |   |   |
H—C—C—C—H
   |   |   |
   H  OH   H
```

Alcohol secundario
(el —OH está unido a un carbono secundario)

```
           H
           |
        H—C—H
           |
   H   H   |   H
   |   |   |   |
H—C—C—C—C—H
   |   |   |   |
   H   H  OH   H
```

Alcohol terciario
(el —OH está unido a un carbono terciario)

Si observas el átomo de carbono al que se une el grupo —OH podrás clasificar al grupo funcional como:



Monoalcoholes, polialcoholes y fenoles: su notación y nomenclatura de acuerdo con la IUPAC y la común

Los alcoholes también se clasifican en monoalcoholes y polialcoholes (dialcoholes, trialcoholes, etcétera) según contengan en su molécula uno o más grupos —OH. Algunos autores también les llaman *alcoholes monovalentes* y *polivalentes* o *alcoholes monoxhídricos* y *polioxhídricos*.

```
CH2—CH2
 |    |
OH   OH
```

dialcohol o alcohol divalente

```
CH2—CH—CH2
 |    |    |
OH   OH   OH
```

trialcohol o alcohol trivalente

La nomenclatura de los alcoholes primarios, secundarios y terciarios, de acuerdo con la IUPAC, se forma como se indica a continuación:

1. Para nombrar a los alcoholes primarios se sustituye la terminación *-ano* del alcano, por *-anol*. Observa los siguientes ejemplos:

$$CH_3{-}OH \qquad \text{Metanol}$$

$$CH_3{-}CH_2{-}CH_2{-}OH \qquad \text{1-Propanol}$$

2. A partir del propanol debe indicarse el número del carbono que contiene el grupo —OH.
3. En los alcoholes secundarios y terciarios también es necesario indicar el número del carbono donde ocurre la sustitución.

$$\begin{array}{ccccc} \scriptstyle 1 & & \scriptstyle 2 & & \scriptstyle 3 \\ CH_3 & - & CH & - & CH_2 \\ & & | & & \\ & & OH & & \end{array} \qquad \text{2-Propanol}$$

$$\begin{array}{ccccccc} CH_3 & - & CH_2 & - & CH & - & CH_3 \\ & & & & | & & \\ & & & & OH & & \end{array} \qquad \text{2-Butanol}$$

$$\begin{array}{ccccc} & & CH_3 & & \\ & & | & & \\ CH_3 & - & C & - & CH_3 \\ & & | & & \\ & & OH & & \end{array} \qquad \text{2-Metil-2-propanol}$$

En el siguiente cuadro se presenta la nomenclatura común de algunos alcoholes:

Cuadro 3.2 Nomenclatura de algunos alcoholes.

Fórmula	Nomenclatura IUPAC	Nomenclatura común
$CH_3{-}OH$	Metanol	Alcohol metílico, alcohol de madera o carbinol.
$CH_3{-}CH_2{-}OH$	Etanol	Alcohol etílico, alcohol de caña o espíritu de vino.
$CH_3{-}CH_2{-}CH_2{-}OH$	1-Propanol	Alcohol *n*-propílico
$\begin{array}{ccccc} CH_3 & - & CH & - & CH_3 \\ & & \vert & & \\ & & OH & & \end{array}$	2-Propanol	Alcohol isopropílico
$CH_3{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}OH$	1-Butanol	Alcohol *n*-butírico
$\begin{array}{ccccccccc} CH_3 & - & CH_2 & - & CH & - & CH_2 & - & OH \\ & & & & \vert & & & & \\ & & & & CH_3 & & & & \end{array}$	3-Metil-1-butanol	Alcohol isoamílico o alcohol amílico de fermentación.

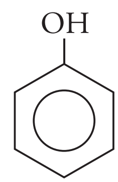
A continuación se indica la nomenclatura de algunos polialcoholes o alcoholes polivalentes:

$$\begin{array}{ccc} CH_2 & - & CH_2 \\ | & & | \\ OH & & OH \end{array} \qquad \text{1,2-Etanodiol o etanodiol (glicol o etilenglicol)}$$

$$\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH_2}}-\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH}}-\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH_2}}$$ 1,2,3-Propanotriol o propanotriol (glicerina)

$$\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH_2}}-\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH}}-\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH}}-\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH_2}}$$ Butanotetrol (eritrita)

Si el hidrocarburo es aromático (Ar) el compuesto Ar—OH, el compuesto recibe el nombre de *fenol*.



Para escribir la fórmula de un alcohol a partir de su nombre, se sigue la misma nomenclatura numérica del cuadro 3.2.

1. 1-Butanol

El prefijo *but-* indica cuatro átomos de carbono:

$$C-C-C-C$$

El número 1 refiere que el grupo —OH está unido al carbono número 1 de la cadena:

$$C-C-C-C-OH$$

Al final se completan los cuatro enlaces de cada carbono con átomos de hidrógeno:

$$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-OH$$

2. 4-Metil-2 pentanol

El número de átomos de carbono de la cadena principal lo indica el prefijo *pent-* (cinco):

$$C-C-C-C-C$$

El grupo —OH, que es el que se debe considerar para numerar la cadena, está unido al carbono número 2:

$$\overset{1}{C}-\overset{\overset{\displaystyle OH}{|\,2}}{C}-\overset{3}{C}-\overset{4}{C}-\overset{5}{C}$$

4-metil, indica que este radical está unido al carbono número 4:

$$CH_3-\overset{\overset{\displaystyle OH}{|}}{CH}-CH_2-\overset{\overset{\displaystyle CH_3}{|}}{CH}-CH_3$$

Cuando existen grupos laterales en el fenol, el carbono al que está unido el —OH se considera como número 1.

OH, Br

o-Bromofenol
2-Bromofenol

OH, CH_3, $H_2C—CH_3$

4-Etil-2-metilfenol

Propiedades físicas y químicas de los alcoholes más comunes

Metanol La destilación de la madera para obtener metanol está en desuso y se ha sustituido por el método sintético, que consiste en hacer reaccionar monóxido de carbono (CO) con hidrógeno (H_2).

$$CO + 2H_2 \longrightarrow CH_3—OH$$

Propiedades El metanol es un líquido incoloro y, cuando es puro, tiene un olor agradable. Es menos denso que el agua y muy soluble en ella. Por otro lado es muy tóxico, provoca ceguera e incluso la muerte si se ingiere o se aplica externamente (figura 3.6).

¿Sabías que...?

Al metanol o alcohol metílico (CH_3—OH) se le llama también alcohol de madera o espíritu de madera, ya que se solía obtener de la destilación de este material.



Figura 3.6 *Metanol* El metanol se utiliza como anticongelante para automotores, disolvente industrial y combustible.

Etanol El etanol (CH_3—CH_2—OH) también recibe los nombres de *alcohol etílico, espíritu de vino* o simplemente *alcohol*. Gran parte del etanol se produce a partir del eteno. También se obtiene por fermentación de ciertos azúcares (figura 3.7).



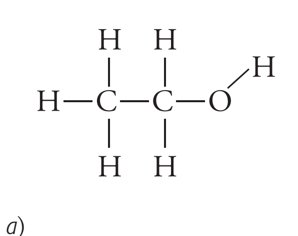
Figura 3.7 *Etanol* El etanol se obtiene de la fermentación de los azúcares, en este caso, de la caña de azúcar.

$$H_2C{=}CH_2 + H_2O \xrightarrow{H_2SO_4} CH_3—CH_2—OH$$

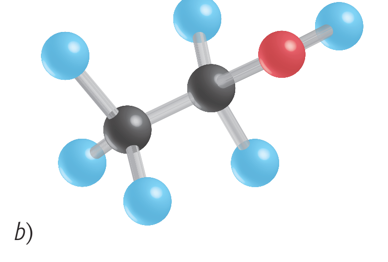
Propiedades El etanol es un líquido incoloro con un olor muy característico. Tiene sabor cáustico y ardiente y arde con llama luminosa. Es soluble en agua en todas proporciones (figura 3.8).

Investiga

¿Cómo se puede producir etanol industrialmente?



a)



b)

Figura 3.8 *Etanol a*) Fórmula desarrollada. *b*) Modelo molecular.

Propanotriol El propanotriol es un alcohol polivalente de fórmula:

$$\begin{array}{ccccc} CH_2 & - & CH & - & CH_2 \\ | & & | & & | \\ OH & & OH & & OH \end{array}$$

y recibe el nombre común de **glicerina** o *glicerol*.

Propiedades El propanotriol es un líquido espeso, incoloro e inodoro. Su sabor es dulce y es untuoso al tacto. Es soluble en agua en todas proporciones.

Los alcoholes tienen puntos de ebullición más altos que los hidrocarburos de semejante masa molecular. Esto se debe a que el grupo —OH es polar

$$-\overset{\delta^-}{O}-\overset{\delta^+}{H}$$

y el átomo de hidrógeno es atraído por los átomos de oxígeno de otras moléculas de alcohol. Este tipo de atracción intramolecular recibe el nombre de *puente de hidrógeno.*

$$\begin{array}{l} R-O^{\delta^-}-H^{\delta^+} \\ \quad\vdots \\ \quad H^{\delta^+}-O^{\delta^-}-R \\ \qquad\quad \vdots \leftarrow \text{Puente de hidrógeno} \\ R-O^{\delta^-}-H^{\delta^+} \\ \quad\vdots \\ \quad H^{\delta^+}-O^{\delta^-}-R \end{array}$$

Los alcoholes que contienen de uno a cuatro átomos de carbono en su molécula son muy solubles en agua debido a que con ésta forman puentes de hidrógeno.

$$\begin{array}{ccc} CH_3-O^{\delta^-}-H^{\delta^+} & & H^{\delta^+}-O^{\delta^-}-CH_3 \\ \quad\ddots & & \quad\cdot^{\cdot^{\cdot}} \\ & H^{\delta^+}-O-{}^{\delta^+}H & \end{array}$$

Puente de hidrógeno

Al aumentar el número de carbonos, la solubilidad disminuye.

Los alcoholes en la vida cotidiana

En general los alcoholes los encontramos en desinfectantes, enjuagues bucales, disolventes, fijadores en aerosol para el cabello, anticongelantes, etcétera.

A continuación se enuncian los usos específicos de los alcoholes más importantes:

Metanol El metanol se usa como disolvente en la fabricación de barnices y pinturas, como anticongelante y para desnaturalizar el alcohol etílico. También se utiliza como combustible y aditivo para gasolina. De hecho, se le considera como el sustituto de la gasolina ya que su índice de octanaje es mayor, es más seguro y es más limpio; esto es, su acción contaminante es mucho menor (figura 3.9).





Figura 3.9 *Metanol* El metanol se usa como disolvente en la elaboración de pinturas. Como combustible y aditivo para gasolina, pues su acción contaminante es menor.

El metanol es sumamente venenoso, aun si se ingiere en pocas cantidades; provoca fatiga, dolor de cabeza, ceguera e incluso la muerte.

Etanol El etanol se utiliza como antiséptico y desinfectante, y como disolvente industrial de grasas, aceites y resinas. Por otro lado, es indispensable para fabricar licores (los llamados aguardientes, provienen de destilaciones fraccionadas incompletas; el nombre que reciben depende del origen de los azúcares fermentados: se llama ron si procede del azúcar de caña, tequila si es de agave, mezcal si se trata del maguey, whisky si se destila de la cebada, vodka si se origina del trigo, brandy si se fermenta de la uva, etcétera) (figura 3.10).





Figura 3.10 *Etanol* El tequila es uno de los muchos ejemplos de etanol que se obtiene de la destilación del corazón del agave.

El etanol ingerido actúa como inhibidor de los centros psicomotores. En la primera etapa, su ingestión disminuye el autocontrol, lo que ocasiona sensación de euforia; a medida que aumenta la ingestión disminuye la capacidad intelectual y el control muscular, la persona habla incoherentemente; aumentan los trastornos característicos de la borrachera; se puede llegar a la inconsciencia y el exceso puede provocar la muerte.

En un sentido estricto, el etanol es el menos tóxico de los alcoholes de cadena lineal, pero su ingestión provoca serios daños al ser humano.

2-Propanol (isopropanol, alcohol isopropílico o alcohol para fricciones) El 2-propanol se utiliza como astringente, ya que al evaporarse rápidamente enfría la piel reduciendo el tamaño de los vasos sanguíneos y poros.

Propanotriol (glicerina) El propanotriol se utiliza en perfumería en la elaboración de cosméticos, cremas y jabones; también se usa como lubricante y anticongelante.

En la industria se utiliza en la fabricación de nitroglicerina, la elaboración de resinas sintéticas y en la preparación de conservas (figura 3.11).



Figura 3.11 *Propanotriol* El contenido de glicerina en los jabones de tocador brinda suavidad a la piel.

Etilenglicol (glicol) El etilenglicol se utiliza en la fabricación de anticongelantes, que son usados en los sistemas de enfriamiento de los automóviles. Es muy venenoso y si se ingiere provoca daños renales e incluso la muerte (figura 3.12).

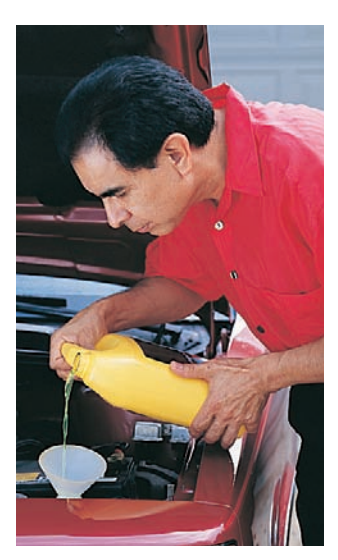


Figura 3.12 *Etilenglicol* Se utiliza como anticongelante en los motores de autos.



Figura 3.13 *Fenol* Se encuentra en los enjuagues bucales y en pastillas para el dolor de garganta, entra otros

Fenol El fenol se utiliza en la fabricación de plásticos y para preparar el resorcinol y el 4-hexilresorcinol, que se usan como antisépticos en pastillas para la garganta y enjuagues bucales (figura 3.13).

OH, OH

Resorcinol

OH, OH, $CH_2—(CH_2)_4—CH_3$

4-Hexilresorcinol

También se utiliza para preparar *o*-fenilfenol, que es un desinfectante de uso doméstico.

Manos a la obra

Reactividad de los alcoholes

Los alcoholes son compuestos orgánicos cuya molécula es un hidrocarburo donde uno o más átomos de hidrógeno han sido reemplazados por grupos hidroxilo. Los alcoholes no existen libres en la naturaleza, sino que son el resultado de síntesis químicas de la industria petroquímica, de procesos fermentativos o de procesos extractivos como la pirólisis de la madera.

Por cualquiera de estos procesos pueden obtenerse alcoholes que contienen un solo grupo hidroxilo como los alcoholes metílico y etílico; dialcoholes como el etilenglicol, o trialcoholes como la glicerina.

Sus reacciones químicas son muy variadas, ya que son la base para obtener diferentes e importantes productos químicos. Al reaccionar con otras sustancias, actúan con distinta velocidad de reacción dependiendo del número de hidrógenos que tenga el átomo de carbono al cual está enlazado el grupo hidroxilo.

Material

- 6 tubos de ensayo de 15 mL
- 1 pinza para tubo de ensayo
- 1 mechero
- 1 gradilla
- 4 pipetas graduadas de 1 mL
- 2 goteros

Sustancias

- 10 mL de alcohol etílico
- 10 mL de alcohol isopropílico
- 10 mL de alcohol terbutílico
- 3.5 g de cloruro de zinc ($ZnCl_2$) en un vidrio reloj
- 9 mL de ácido clorhídrico (HCl) concentrado en un vaso de precipitados de 50 mL de capacidad
- 10 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado en un vaso de precipitados de 50 mL de capacidad
- solución acuosa de dicromato de potasio al 10%

Procedimiento

1. **Prueba de Lucas** para distinguir alcoholes primarios, secundarios y terciarios.

   Coloca en tres tubos de ensayo, y por separado, 1 mL de alcohol etílico, 1 mL de alcohol isopropílico y 1 mL de alcohol terbutílico. Disuelve 3.5 g de cloruro de zinc en 9 mL de ácido clorhídrico concentrado y añade a cada tubo 1 mL de esta solución y luego agita el tubo de ensayo.

   Una turbidez inmediata indica un alcohol terciario; si la solución se vuelve turbia aproximadamente en 5 minutos identifica a un alcohol secundario; mientras que los alcoholes primarios no muestran turbidez. La turbidez se debe a la formación de cloruro de alquilo.

2. Reacción de oxidación para formar cetonas, aldehídos y ácidos.

Coloca en cada uno de los tres tubos de ensayo 1 mL alcohol etílico, 1 mL de alcohol isopropílico y 1 mL de alcohol terbutílico, respectivamente; añade a cada tubo 20 gotas de ácido sulfúrico diluido y 5 gotas de solución de dicromato de potasio. Calienta ligeramente con el mechero cada tubo de ensayo y observa el color. Percibe el aroma de cada producto atrayendo con la mano los vapores hacia tu nariz.

Con los resultados obtenidos llena la siguiente tabla:

Alcoholes	Etílico	Isopropílico	Terbutílico
Prueba de Lucas			
Reacción de oxidación			

Adaptada de Zárraga, Velázquez, Rojero, *Química experimental. Prácticas de laboratorio*, México, McGraw-Hill Interamericana, 2004, p. 119-121.

3.3 Aldehídos

Tanto los aldehídos como las cetonas contienen un grupo funcional llamado *carbonilo* $>C{=}O$ y es uno de los grupos más importantes en química orgánica y bioquímica.

Aldehído significa "alcohol deshidrogenado". A estos compuestos se les considera como productos de la oxidación parcial de alcoholes primarios. Los aldehídos se forman cuando en el grupo funcional de los alcoholes primarios ($-CH_2-OH$), se eliminan dos átomos de hidrógeno:

$$CH_3-\overset{\displaystyle H}{\underset{\displaystyle H}{\overset{|}{\underset{|}{C}}}}-OH \longrightarrow CH_3-\overset{\displaystyle H}{\overset{|}{C}}{=}O + H_2$$

Alcohol primario → Aldehído + Hidrógeno

Estructura y grupo funcional de los aldehídos

El grupo funcional de los aldehídos es:

$$-\overset{\displaystyle H}{\overset{|}{C}}{=}O$$

y su representación es R–CHO.

La estructura electrónica de Lewis de estos compuestos, si se sabe que R es monovalente es:

$$\begin{array}{c} \times\times \\ \times O \times \\ \times\times \\ \bullet\bullet \\ R \bullet C \bullet H \end{array}$$

y en forma desarrollada:

$$H\diagdown C \diagup\!\!\!= O, \quad \underset{\displaystyle R}{\underset{|}{C}}$$

En las siguientes fórmulas se sombreó en azul el grupo funcional aldehído:

$$H{-}CHO$$

$$CH_3{-}CHO$$

$$CH_3{-}CH_2{-}CHO$$

Nomenclatura de la IUPAC y la común de los aldehídos

De acuerdo con la IUPAC, para nombrar a los aldehídos, se sustituye la terminación *-ol* del alcohol por *-al*:

Alcohol	**Aldehído**
$H{-}CH_2{-}OH$ Metanol	$H{-}CHO$ Metanal
$CH_3{-}CH_2{-}OH$ Etanol	$CH_3{-}CHO$ Etanal
$CH_3{-}CH_2{-}CH_2{-}OH$ Propanol	$CH_3{-}CH_2{-}CHO$ Propanal
$CH_3{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}OH$ Butanol	$CH_3{-}CH_2{-}CH_2{-}CHO$ Butanal

El nombre común de los aldehídos anteriores, respectivamente, es aldehído fórmico o **formaldehído**, aldehído acético o acetaldehído, aldehído propiónico, propionaldehído o propanal, y aldehído butírico o butiraldehído.

Propiedades físicas y químicas de los aldehídos

Los aldehídos que tienen hasta cuatro átomos de carbono en su molécula son totalmente solubles en agua. Esta solubilidad decrece a medida que aumentan los átomos de carbono; los de siete o más carbonos son insolubles en agua.

En términos generales, los aldehídos son menos densos que el agua.

El metanal es gaseoso y a partir del etanal los aldehídos son líquidos, aunque los términos con un alto número de carbonos son sólidos, los cuales se descomponen al destilarlos.

Los aldehídos se hidrogenan y se transforman en los alcoholes respectivos:

$$H_3C{-}\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}{-}H + H_2 \longrightarrow CH_3{-}CH_2{-}OH$$

Por otro lado, los aldehídos reaccionan intensamente con los halógenos cloro y bromo en donde un átomo del halógeno sustituye al átomo de hidrógeno del grupo funcional $-CHO$.

$$\mathrm{H_3C{-}C({=}O){-}H} + Br_2 \longrightarrow \mathrm{H_3C{-}C({=}O){-}Br}$$

Los aldehídos en la vida cotidiana

El aldehído con más importancia industrial es el metanal, conocido comúnmente como aldehído fórmico o **formaldehído** (H—CHO). El formaldehído en solución acuosa al 40% se llama *formalina* o formol, y se emplea como germicida y en la conservación de muestras anatómicas (figura 3.14).

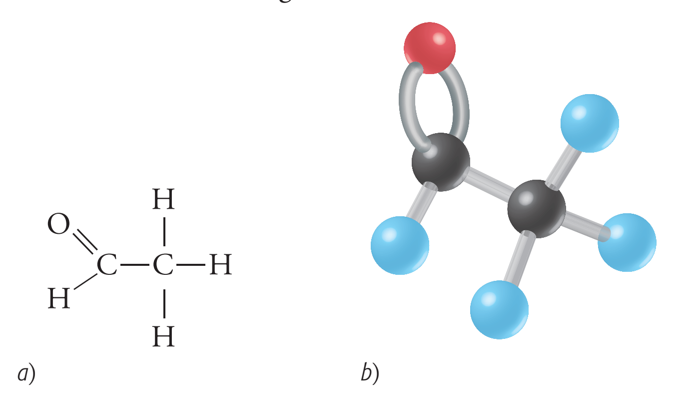


Figura 3.14 *Formaldehído a*) Fórmula desarrollada. *b*) Modelo molecular.

Este aldehído se usa en la elaboración de algunos champús, materiales aislantes y papel, además de resinas, fertilizantes y colorantes, y para producir la *hexametilén tetramina*, llamada también *urotropina* que tiene usos medicinales como antiséptico urinario (figura 3.15).

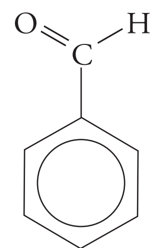
La urotropina se produce cuando reacciona el metanal o formaldehído con una solución acuosa de hidróxido de amonio, según la siguiente ecuación:

$$4NH_3 + 6\ \mathrm{H{-}C({=}O){-}H} \longrightarrow \mathrm{N_4(CH_2)_6} + 6\ H_2O$$



Figura 3.15 *Formalina* Se usa en la elaboración de algunos champús.

El benzaldehído es el aldehído del benceno que se emplea en perfumería, en productos farmacéuticos y colorantes.



3.4 Cetonas

Ya sabes que el grupo carbonilo en los aldehídos está unido a un átomo de hidrógeno y a un radical alquilo. En el caso de las cetonas, el grupo carbonilo se une a dos radicales alquilo.

$$R-\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}-R$$

Las **cetonas** son compuestos que resultan de la oxidación de alcoholes secundarios. Se forman cuando el grupo funcional de los alcoholes secundarios (CH—OH) pierde dos átomos de hidrógeno.

$$\underset{\text{Alcohol secundario}}{CH_3-\underset{\underset{\displaystyle OH}{|}}{CH}-CH_3} \rightarrow \underset{\text{Cetona}}{CH_3-\underset{\underset{\displaystyle O}{\|}}{C}-CH_3}$$

Estructura y grupo funcional de las cetonas

El grupo funcional de las cetonas es

$$-\underset{\underset{\displaystyle O}{\|}}{C}-$$

y se llama *carbonilo*. La representación general de las cetonas es R—CO—R.

La estructura electrónica de estos compuestos se representa de la siguiente manera:

$$R \,:\, \underset{\underset{\displaystyle \ddot{O}}{\times\times}}{\underset{\bullet\bullet}{C}} \,:\, R$$

y en forma desarrollada:

$$R-\underset{\underset{\displaystyle O}{\|}}{C}-R$$

En las siguientes fórmulas semidesarrolladas está marcado en azul el grupo funcional cetona.

$CH_3-CO-CH_3$

$CH_3-CH_2-CO-CH_3$

$CH_3-CH_2-CO-CH_2-CH_3$

Nomenclatura de la IUPAC y la común de las cetonas

Para nombrar a las cetonas se cambia la terminación *-ol* del alcohol por *-ona*. Además, a partir de la pentanona, se debe indicar el lugar que ocupa en la cadena el grupo carbonilo (CO), que caracteriza a las cetonas. Observa los ejemplos:

$CH_3-CO-CH_3$	Propanona
$CH_3-CO-CH_2-CH_3$	Butanona
$\overset{1}{CH_3}-\overset{2}{CH_2}-\overset{3}{CO}-\overset{4}{CH_2}-\overset{5}{CH_3}$	3-Pentanona
$CH_3-CH_2-CO-CH_2-CH_2-CH_3$	3-Hexanona

El nombre común de las cetonas anteriores, respectivamente, es: acetona, etil-metil-cetona, dietil-cetona y etil-propil-cetona.

En esta nomenclatura común se dan los nombres, en orden alfabético, de los radicales alquilo y al final la palabra cetona.

Propiedades físicas y químicas de las cetonas

En general, las cetonas son líquidas; pero a partir de la que tiene 16 átomos de carbono, son sólidas. Su olor es agradable y son solubles en alcohol, éter y cloroformo.

Las cetonas, al reaccionar con hidrógeno, producen alcoholes secundarios:

$$CH_3-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-CH_3 + H_2 \longrightarrow CH_3-\underset{\underset{OH}{|}}{CH}-CH_3$$

Con pentalogenuros de fósforo forman derivados dihalogenados en el mismo átomo de carbono:

$$\underset{\text{Acetona}}{CH_3-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-CH_3} + PCl_5 \longrightarrow \underset{\text{2,2-Dicloropropano}}{CH_3-CCl_2-CH_3} + POCl_3$$

Las cetonas en la vida cotidiana

El primer término de la serie de las cetonas es la propanona, la más importante de todas las cetonas (figura 3.16).

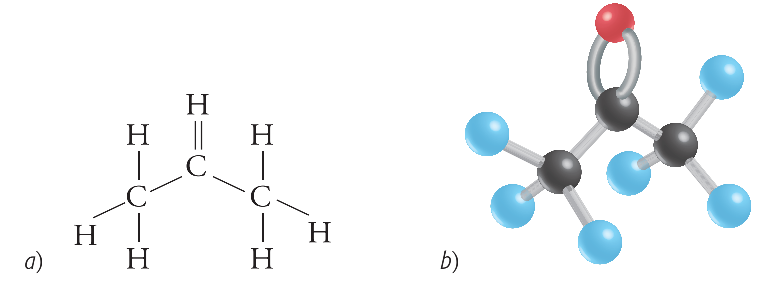


Figura 3.16 *Acetona a*) Fórmula desarrollada. *b*) Modelo molecular.

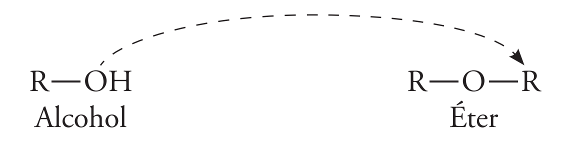
La acetona es un eficaz disolvente de gran cantidad de materiales orgánicos; por ello se usa para producir removedores de pintura y disolvente del esmalte de uñas (figura 3.17). Además, se utiliza también en la obtención del yodoformo, que se usa como antiséptico.



Figura 3.17 *Acetona* Es un buen removedor del esmalte de uñas.

3.5 Éteres

Los **éteres** se forman cuando dos radicales alquilo se unen mediante un átomo de oxígeno (R—O—R). También cuando se sustituye el hidrógeno del grupo OH de los alcoholes por un radical alquilo:



o cuando a dos moléculas de alcohol reaccionan entre sí, eliminando una molécula de agua:

$$CH_3—OH + CH_3—CH_2—OH \rightarrow H_2O + CH_3—O—CH_2—CH_3$$

A esta reacción se le llama **reacción de condensación** y ocurre cuando a dos sustancias se les elimina agua.

Estructura y grupo funcional de los éteres

El grupo funcional que caracteriza a estos compuestos es $R_1—O—R_2$, donde R_1 y R_2 son radicales alquilo, y su estructura electrónica es la siguiente:

$$R \overset{\times}{:}\ddot{O}: \quad \underset{R}{}$$

Éteres simples y mixtos

Cuando los radicales alquilo son iguales se les llama éteres simples (R—O—R), y si son diferentes reciben el nombre de éteres mixtos (R—O—R′). Observa los ejemplos siguientes:

Éteres simples

$$CH_3—O—CH_3$$

$$CH_3—CH_2—O—CH_2—CH_3$$

$$(CH_3)_2CH—O—CH(CH_3)_2$$

Éteres mixtos

$$CH_3—O—CH_2—CH_3$$

$$CH_3—CH_2—O—CH_2—CH(CH_3)—CH_3$$

Nomenclatura de la IUPAC y común de los éteres

La forma común para nombrar a los éteres consiste en anteponer la palabra *éter* al nombre de los radicales; en el caso de los éteres mixtos, se mencionan en orden alfabético y al último se le hace terminar en *-ico*.

$CH_3—CH_2—O—CH_2—CH_3$	Éter dietílico o éter etílico (simple)
$(CH_3)_2CH—O—CH(CH_3)_2$	Éter diisopropílico o éter isopropílico (simple)
$CH_3—O—CH_2—CH_3$	Éter etil-metílico (mixto)

De acuerdo con la IUPAC, siempre se toma como cadena principal la de mayor longitud y se numera el alcóxido como un sustituyente, se sustituye la terminación

-ano por *-oxi*, mencionándose en seguida el segundo radical con el nombre del hidrocarburo del que proviene.

$CH_3—O—CH_3$	Metoximetano
$CH_3—CH_2—O—CH_2—CH_3$	Etoxietano
$CH_3—O—CH_2—CH_2—CH_3$	1-Metoxipropano
$CH_3—O—CH_2—CH_2—CH_2—CH_3$	1-Metoxibutano

El número hace referencia al átomo de carbono de la cadena más larga a la que va unido el alcóxido.

Propiedades físicas y químicas de los éteres

La mayor parte de los éteres son líquidos; sólo el metoximetano es gaseoso. Tienen olor agradable y son menos densos que el agua.

Los éteres que contienen seis o más átomos de carbono en su molécula son insolubles en agua, mientras que los de cinco o menos carbonos sí son solubles en esta sustancia. Por otro lado, son bastante inertes.

Si se calientan con ácido yodhídrico forman un alcohol y un haluro de alquilo.

$$CH_3—CH_2—O—CH_2—CH_3 + HI \rightarrow CH_3—CH_2—OH + CH_3—CH_2—I$$

Los éteres en la vida cotidiana

El más importante de los éteres es el etoxietano ($CH_3—CH_2—O—CH_2—CH_3$), conocido también como *éter sulfúrico, dietiléter, éter etílico* o simplemente *éter*. Este compuesto se utiliza en la fabricación de explosivos y como disolvente del azufre, grasas y fósforo. En medicina, se usa como antiespasmódico. Anteriormente se empleaba como anestésico, pero en la actualidad ya no está permitido debido a que es muy inflamable, además de que irrita el sistema respiratorio y causa náusea y vómito posteriores a la anestesia.

Lectura — Descubrimiento del teflón

Hace muchos años desayunar unos huevos estrellados seguramente era más difícil que ahora, pues éstos se rompían y no tenían esa presentación como de fotografía. ¡Eso ha quedado atrás, gracias a las sartenes de teflón!

En 1938 un joven estudiante de química que trabajaba en la preparación de un compuesto que se usaba para la refrigeración, abrió la válvula de un tanque de tetrafluoroeteno que tenía previsto usar en tal tarea. Grande fue su sorpresa cuando al abrir la válvula del tanque lleno, el gas no salía. Como este joven era muy curioso, introdujo un alambre a través de la apertura de la válvula y constató que no había ninguna obstrucción. Su curiosidad lo llevó a realizar otra investigación. Cuando cortó el tanque para abrirlo, encontró un sólido en lugar del gas.

Este sólido era lo que ahora llamamos teflón, que se usa como cubierta antiadherente en ollas y sartenes, también en dentaduras postizas, en articulaciones artificiales y en válvulas cardiacas, en trajes espaciales y en tanques de combustible para naves que se envían al espacio.

Adaptado de Phillips, Strozak, Wistrom, *Química. Conceptos y aplicaciones*, 2a. ed., México, McGraw-Hill Interamericana, 2007, p. 648.

Palabras clave

Lo que aprendí

1. Escribe el nombre y símbolo respectivo de los elementos llamados halógenos.

2. ¿Cuándo ocurre la reacción de sustitución llamada halogenación?

3. ¿Qué nombre reciben los derivados monohalogenados de los alcanos?

4. ¿Cuál de los siguientes compuestos es menos denso?

$CH_3—CH_2—Br$ o $CH_3—CH_2—CH_2—Br$

5. Investiga en qué consiste la síntesis de Wurtz.

6. ¿Cuál es el nombre común del tricolorometano?

7. Escribe el nombre de los siguientes derivados halogenados:

a) $Cl—CH_2—CH_2—C(F)(Cl)—CH_2—CH(Br)—CH(I)—CH_3$

b) $CH_3—CH(Cl)—CH_2—Br$

c) $CH_3—CH_2—CH_2—Br$

d) $CH_3—CH(Cl)—CH_2—CH(Br)—CH_3$

e) $F—C(F)(H)—C(Cl)(H)—Cl$

f) $CH_3—C(F)(Cl)—CH_2—C(Cl)(F)—CH_2—CH_3$

8. Escribe la fórmula semidesarrollada de los siguientes compuestos:

a) 2-Cloropropano

b) 1-Bromo-2-cloropropano

c) 1-Cloro-1-fluorociclopropano

d) 2,4-Dicloro- 3-metilhexano

e) 3,3-Dibromo-2-metilpentano

f) 1,1,3,5-tetraclorociclohexano

9. ¿Cuál es el nombre común del politetrafluoretileno? Indica un uso.

10. ¿Cuál es el nombre químico del polímero PVC, en qué se usa y qué daños puede ocasionar el monómero del que proviene?

11. ¿Cómo se forman los alcoholes?

12. Dibuja la estructura general de un alcohol secundario.

13. Dibuja la estructura general de un alcohol terciario.

14. Escribe la fórmula de un dialcohol cuya cadena principal contenga cuatro átomos de carbono e indica su nombre.

15. ¿Cuál es el nombre común del etanol?

16. ¿Cuál es el nombre, de acuerdo con la IUPAC, de la glicerina?

17. ¿Cómo se explica que el etanol ($CH_3—CH_2—OH$) tenga su punto de ebullición más alto que el etano ($CH_3—CH_3$)?

18. Escribe un uso del metanol.

19. Escribe la fórmula semidesarrollada de los siguientes alcoholes:

a) Pentanol

b) 2-Butanol

c) 2-Metil-2-propanol

d) 1,3-Propanodiol

e) 3-Clorofenol

20. Escribe el nombre de los siguientes alcoholes:

a) $CH_3—CH_2—OH$

b) $CH_3—CH(OH)—CH_3$

c) $CH_3—CH(CH_3)—CH_2—CH_2—OH$

d) (anillo bencénico con OH, CH_3, CH_3)

e) $CH_3—CH_2—CH(CH_2—CH_3)—CH(OH)—CH(CH_3)—CH_3$

21. Representa con una ecuación la formación de un aldehído a partir del alcohol que se indica.
$CH_3—CH_2—CH_2—OH$

22. Escribe el nombre común del metanal:

23. ¿Qué aldehídos son totalmente solubles en agua?

24. Completa la siguiente ecuación que se refiere a hidrogenación de aldehídos:

$CH_3—CH_2—C(=O)H$

25. Menciona dos usos del metanal.

26. ¿Cuál es la diferencia entre aldehídos y cetonas con respecto a la posición del carbonilo (C═O) en la molécula?

27. Escribe la fórmula condensada de los alcoholes de los que se pueden obtener los siguientes compuestos.

a) $CH_3—O—CH_3$

b) $CH_3—C(=O)—CH_2—CH_3$

c) $CH_3—CH_2—C(H)═O$

28. ¿De qué tipo de alcoholes provienen las cetonas?

29. Escribe un uso común de la propanona.

30. ¿A qué se llama reacción de condensación?

31. ¿A qué se le llama éter mixto?

____

____

32. ¿Por qué el éter etílico ya no se emplea como anestésico?

____

____

33. Escribe a la derecha el nombre de cada uno de los siguientes grupos funcionales.

a) R—O—R ______________________________

b)



____

c) $-\overset{\displaystyle H}{\overset{|}{C}}=O$ ______________________________

d) —OH ______________________________

34. Completa las siguientes ecuaciones:

a) $CH_3-CH_2-\underset{\displaystyle O}{\underset{\|}{C}}-CH_3 + H_2 \rightarrow$ ______________________________

b) $2CH_3-OH \rightarrow H_2O +$ ______________________________

35. Completa la siguiente tabla:

Fórmula semidesarrollada	Nombre (IUPAC)	Nombre común	Grupo funcional
$CH_3-C(=O)-H$			
		Acetona	
	Etoxietano		
CH_3-O-CH_3			
	Metanal		

Unidad 4

Grupos funcionales II: ácidos carboxílicos, ésteres, halogenuros de ácido y anhídridos



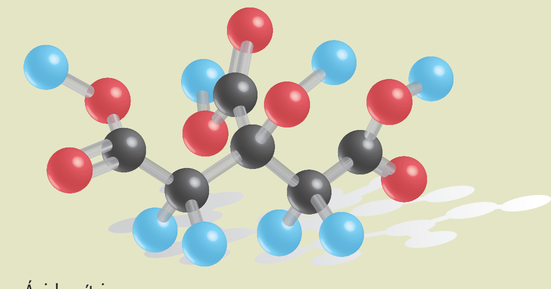
Los ésteres son los componentes que dan a las flores y frutos su aroma y sabor característicos, propiedades que juegan un papel muy importante en los ecosistemas al atraer insectos y otros animales y permitir la polinización entre diversas especies.



Contenido

Objetivo de la unidad

Al concluir esta unidad el alumno conocerá qué son los ácidos carboxílicos, el grupo funcional que los caracteriza, su estructura electrónica, notación y nomenclatura. Aprenderá también en qué fuentes naturales se pueden encontrar ácidos carboxílicos, sus propiedades y cómo pueden obtenerse. Asimismo, aprenderá la estructura y nomenclatura de algunos derivados de ácidos carboxílicos.

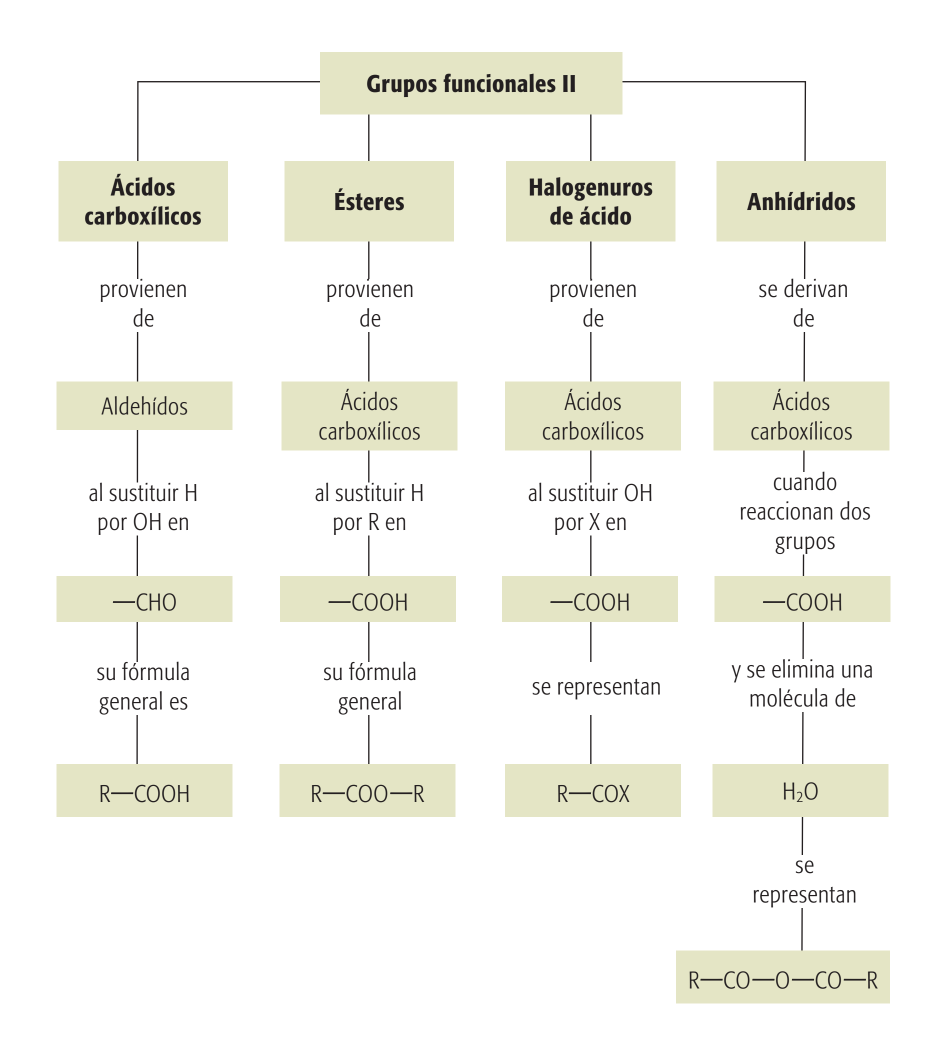


Ácido cítrico

¿Cuánto sabes?

1. ¿Qué es un grupo funcional?
2. ¿Cómo se forman los aldehídos?
3. Escribe el grupo funcional presente en los aldehídos.
4. Un ácido común es el ácido acético. ¿En dónde se encuentra?
5. ¿En qué fruta supones que se encuentra el ácido cítrico?
6. ¿Con qué nombres comerciales conoces al polímero PET?
7. ¿Qué tipo de elementos se representan con la letra X?
8. Menciona algún jugo de fruta con sabor ácido.

Mapa conceptual Unidad 4.1



Introducción

Los ácidos carboxílicos (también llamados orgánicos) forman una familia muy importante, tanto desde el punto de vista biológico como del industrial. En esta unidad estudiarás estos compuestos, y algunos de sus derivados, como los ésteres, halogenuros de ácido y los anhídridos.

4.1 Ácidos carboxílicos

Estos compuestos se forman al oxidar un aldehído. Ocurre cuando el hidrógeno del grupo funcional aldehído (—CHO) se sustituye por el grupo hidroxilo (—OH).

R—C═O (con H) → R—C═O (con OH)

CH_3—C═O (con H) ⟶ CH_3—C═O (con OH)

Aldehído — Ácido carboxílico

Estructura y grupo funcional de los ácidos carboxílicos

El grupo funcional de los ácidos orgánicos —COOH

>C═O (con OH)

se llama **carboxilo**; de ahí el nombre de **ácidos carboxílicos**.

El nombre del grupo funcional (carboxilo) resulta de la contracción de los grupos *carbonilo* (═C═O) e *hidroxilo* (—OH). Se representan como R—COOH y su estructura electrónica es:

R ⁘ C ⁘ OH (con :Ö: unido a C por doble par)

En las siguientes fórmulas aparece en azul el grupo funcional de los ácidos carboxílicos.

H—COOH

CH_3—COOH

CH_3—CH_2—COOH

CH_3—CH_2—CH_2—COOH

CH_3—CH_2—CH_2—CH_2—COOH

¿Sabías que...?

Muchas feromonas poseen el grupo funcional carboxilo. Las feromonas son compuestos orgánicos que usan los animales para comunicarse entre sí. En 1959 fueron definidas, por primera vez, como sustancias químicas excretadas por animales para provocar una respuesta de comportamiento reproductivo de un receptor de la misma especie (figura 4.1).

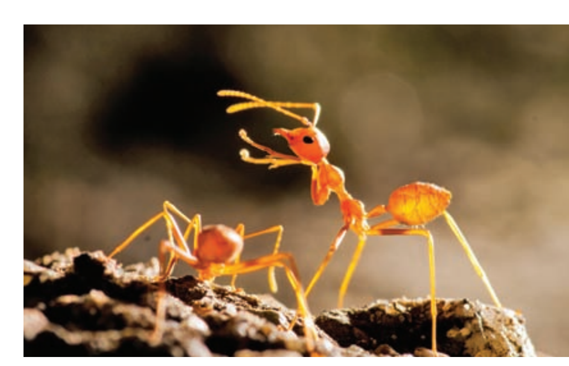


Figura 4.1 *Las feromonas en las hormigas* Cuando una hormiga encuentra alimento libera una feromona, dejando un rastro para que otras hormigas de su colonia puedan seguirlo y llegar a donde están las provisiones.

Clasificación de los ácidos carboxílicos

En una molécula puede haber un **grupo carboxilo** (ácidos **monocarboxílicos**), dos grupos carboxilo (ácidos **dicarboxílicos**), o más grupos carboxilo (ácidos **policarboxílicos**). También se les conoce como *ácidos monobásicos, dibásicos y polibásicos*, respectivamente. A continuación se presentan algunos ejemplos de dichos ácidos.

$CH_3—CH_2—COOH$	$HOOC—CH_2—COOH$
Ácido monobásico o monocarboxílico	Ácido dibásico o dicarboxílico

Los ácidos monocarboxílicos o monobásicos reciben el nombre de ácidos grasos porque se obtienen de las grasas.

Nomenclatura de los ácidos carboxílicos

La palabra y su raíz

ácido (latín) *acidus* agrio.
Una propiedad de los ácidos es que tienen un sabor agrio.

De acuerdo con la IUPAC, para nombrar a los ácidos carboxílicos se le agrega al nombre del alcano del que provienen la terminación *-ico*, y se antepone la palabra ácido.

$H—COOH$	Ácido metanoico
$CH_3—COOH$	Ácido etanoico
$CH_3—CH_2—COOH$	Ácido propanoico
$CH_3—CH_2—CH_2—COOH$	Ácido butanoico
$CH_3—CH_2—CH_2—CH_2—COOH$	Ácido pentanoico

Si en la molécula existen dos o más grupos carboxílicos (—COOH), se antepone a la terminación *-oico*, el prefijo *di-*, *tri-*, etcétera.

$HOOC—CH_2—COOH$	Ácido propanodioico
$HOOC—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—COOH$	Ácido hexanodioico

Antiguamente, a los ácidos se les asignaban nombres comunes que hacían referencia a su fuente natural de obtención. Así, al H—COOH se le llamó *ácido fórmico*, ya que se obtuvo por primera vez de la hormiga roja (*Formica rufa*); al $CH_3—COOH$ se le conoció comúnmente como *ácido acético* porque se obtuvo del vinagre (del latín, *aceticum*) (figura 4.2); el ácido propiónico ($CH_3—CH_2—COOH$) toma su nombre del griego *propios* (primero de los ácidos superiores).

¿Sabías que...?

El vinagre es una solución acuosa de ácido acético al 5%.

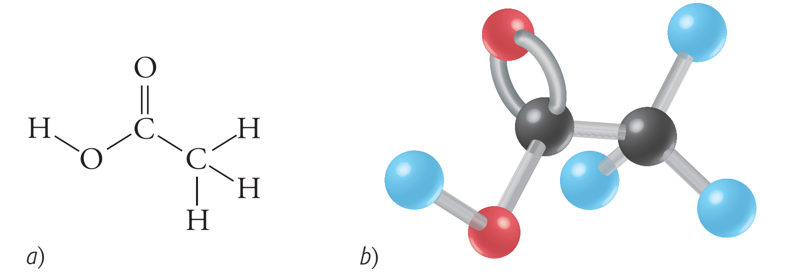


Figura 4.2 *Ácido acético a*) Fórmula desarrollada. *b*) Modelo de barras y esferas del ácido acético, ejemplo de un ácido carboxílico.

Los siguientes ácidos reciben su nombre debido a que se obtuvieron de la mantequilla de leche de cabra:

$$CH_3-CH_2-CH_2-C(=O)-OH$$

Ácido butírico

$$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-C(=O)-OH$$

Ácido caproico

$$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-C(=O)-OH$$

Ácido caprílico

$$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-C(=O)-OH$$

Ácido cáprico

En el siguiente cuadro se indica la fórmula, el nombre común y el que asigna la IUPAC a algunos ácidos monocarboxílicos. Cuando el grupo metileno ($-CH_2-$) se repite más de dos veces, se presenta entre paréntesis y el subíndice indica el número de veces que se repite en la molécula.

Cuadro 4.1 Ácidos orgánicos monocarboxílicos y dicarboxílicos.

Ácidos monocarboxílicos		
Fórmula	**Nombre común**	**Nombre según la IUPAC**
$H-COOH$	Ácido fórmico	Ácido metanoico
CH_3-COOH	Ácido acético	Ácido etanoico
CH_3-CH_2-COOH	Ácido propiónico	Ácido propanoico
$CH_3-(CH_2)_2-COOH$	Ácido butírico	Ácido butanoico
$CH_3-(CH_2)_3-COOH$	Ácido valérico	Ácido pentanoico
$CH_3-(CH_2)_4-COOH$	Ácido caproico	Ácido hexanoico
$CH_3-(CH_2)_5-COOH$	Ácido enántico	Ácido heptanoico
$CH_3-(CH_2)_6-COOH$	Ácido caprílico	Ácido octanoico
$CH_3-(CH_2)_7-COOH$	Ácido pelargónico	Ácido nonanoico
$CH_3-(CH_2)_8-COOH$	Ácido cáprico	Ácido decanoico
$CH_3-(CH_2)_{10}-COOH$	Ácido láurico	Ácido dodecanoico
$CH_3-(CH_2)_{12}-COOH$	Ácido mirístico	Ácido tetradecanoico
$CH_3-(CH_2)_{14}-COOH$	Ácido palmítico	Ácido hexadecanoico
$CH_3-(CH_2)_{15}-COOH$	Ácido margárico	Ácido heptadecanoico
$CH_3-(CH_2)_{16}-COOH$	Ácido esteárico	Ácido octadecanoico
Ácidos dicarboxílicos		
$OHOC-COOH$	Ácido oxálico	Ácido etanodioico
$OHOC-CH_2-COOH$	Ácido malónico	Ácido propanodioico
$OHOC-(CH_2)_2-COOH$	Ácido succínico	Ácido butanodioico
$OHOC-(CH_2)_3-COOH$	Ácido glutárico	Ácido pentanodioico



Figura 4.3 *El ácido acético* Es de los ácidos carboxílicos más comunes y se encuentra en el vinagre.

Investiga

El significado de la palabra cítrico.

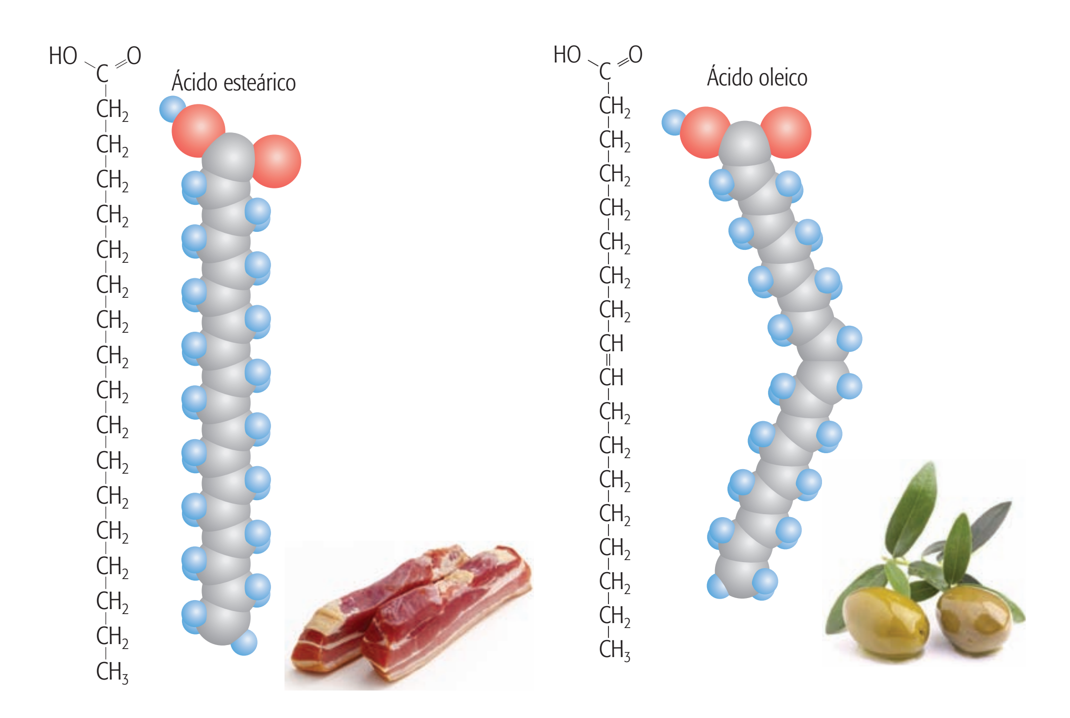
Como ejemplo de los ácidos tricarboxílicos, se puede mencionar al ácido cítrico (ácido 2-hidroxi-1,2,3-propanotrioico).

$$\begin{array}{c} O{=}C{-}OH \\ | \\ HO{-}C({=}O){-}CH_2{-}C{-}CH_2{-}C({=}O){-}OH \\ | \\ OH \end{array}$$

Todos los ácidos anteriores son **ácidos grasos saturados**.

Figura 4.4 *Ácidos grasos saturados e insaturados* Aquí se muestran las estructuras de dos ácidos grasos de 18 carbonos, uno saturado y otro monoinsaturado. El ácido esteárico se encuentra en el tejido del cerdo y de la res; el ácido oleico es el principal componente del aceite de oliva.

La presencia de un enlace doble en el ácido oleico provoca una curvatura en la molécula y evita que se empaque tan apretadamente como lo hacen las moléculas de ácido esteárico. Por esta razón, el ácido oleico –como la mayoría de los lípidos vegetales– es líquido a temperatura ambiente, mientras que el ácido esteárico –como casi todos los lípidos de origen animal– es un sólido.



¿Sabías que...?

Los ácidos saturados tienen solamente enlaces sencillos que unen a los átomos de carbono. Los ácidos insaturados tienen un enlace doble entre dos átomos de carbono, y los poliinsaturados tienen dos o más enlaces dobles.

También existen **ácidos grasos no saturados**, como el ácido oleico,

$$CH_3{-}(CH_2)_7{-}CH{=}CH{-}(CH_2)_7{-}COOH$$

ácidos derivados del benceno como el ácido benzoico

$$C_6H_5{-}COOH$$

y el ácido acetilsalicílico:

$$C_6H_4(COOH){-}O{-}CO{-}CH_3$$

que se utiliza como el principio activo de la aspirina.

Propiedades físicas y químicas de los ácidos carboxílicos

Los ácidos metanoico, etanoico y propanoico son totalmente solubles en agua. Esta solubilidad disminuye a medida que aumenta el número de átomos de carbono y, a partir del ácido octanoico (caprílico) $CH_3—(CH_2)_6—COOH$, los ácidos carboxílicos son insolubles en agua. La densidad de los ácidos carboxílicos es inferior a la del agua, excepto los ácidos metanoico y etanoico.

Los primeros ácidos tienen olor picante y desagradable (figura 4.5). Son líquidos hasta el ácido decanoico (cáprico) $CH_3—(CH_2)_8—COOH$. Su punto de ebullición se eleva conforme aumenta el número de átomos de carbono.



Figura 4.5 *Ácidos carboxílicos* Son los ácidos de olor fuerte, algunos de ellos son los responsables del desagradable olor de pies, por ejemplo, el ácido valérico (ácido pentanoico).

Los ácidos carboxílicos son ácidos débiles. Reaccionan con alcoholes formando ésteres.

$$\underset{\text{Ácido carboxílico}}{R—COOH} + \underset{\text{Alcohol}}{R—CH_2—OH} \longrightarrow \underset{\text{Éster}}{R—COOH—CH_2—R} + \underset{\text{Agua}}{H_2O}$$

$$\underset{\text{Ácido etanoico}}{CH_3—COOH} + \underset{\text{Etanol}}{CH_3—CH_2—OH} \longrightarrow \underset{\text{Etanoato de etilo}}{CH_3—COOH—CH_2—CH_3} + \underset{\text{Agua}}{H_2O}$$

Los ácidos orgánicos reaccionan con los hidróxidos y con los metales alcalinos para formar sales. Cuando estas sales tienen más de catorce átomos de carbono, reciben el nombre común de **jabones**.



Figura 4.6 *El jabón* Se fabrica a partir de los ácidos carboxílicos de cadena larga de 14 o más carbonos de longitud mediante la siguiente reacción de:

$$RCOOH + NaOH \longrightarrow \underset{\text{Jabón}}{RCOONa} + H_2O$$

Lectura Jabones y detergentes

¿Alguna vez te ha sucedido que manchas de grasa tus pantalones favoritos? ¿Y para solucionar el problema mojas la mancha, pero el agua simplemente se escurre?

Lo anterior confirma aquello de que el agua y el aceite no se mezclan... a menos de que añadas jabón. Normalmente el aceite es insoluble en agua, sin embargo las moléculas de jabón logran lo que parecía imposible: mezclar el agua con el aceite.

Cuando las grasas o los aceites reaccionan con la lejía (la lejía es una base fuerte como hidróxido de sodio o de potasio) forman los jabones –casi siempre estearato de sodio– y glicerina. Un grupo iónico carboxilo con carga negativa ($—COO^-$) está unido a un ion sodio positivo (Na^+) y a una larga cadena de grupos $—CH_2—$.

$$CH_3—(CH_2)_{16}—COO^-Na^+$$

Cómo funcionan los jabones y los detergentes Una molécula de jabón tiene dos partes muy diferentes: un extremo es hidrófilo, atraído por el agua, y el otro es hidrófobo, repelido por ésta. La parte hidrófoba de la molécula de jabón consta de una larga cadena hidrocarbonada con una estructura semejante a la del aceite y, por consiguiente, es soluble en él.

Las cadenas hidrocarbonadas de los jabones atraen a las partículas de grasa y polvo. Esa parte de la molécula de jabón forma una capa protectora alrededor del material grasoso. El extremo hidrófilo de la molécula (el extremo $—COONa$) atrae a las moléculas polares del agua. Esto hace que la molécula completa de jabón, junto con el material oleoso, vayan hacia el agua de lavado. El complejo aceite-jabón queda suspendido en el agua y se lava.

Igual que los jabones, los detergentes tienen moléculas con un extremo polar y un extremo no polar. Por lo general, los detergentes contienen sulfonatos, constituidos por grupos SO_3, unidos a una cadena o a un anillo de carbonos. Los detergentes comunes son las sales de sodio de estos sulfonatos, y sus moléculas tienen grupo SO_3^- en un extremo en lugar del grupo COO^- característico de los jabones.

Los jabones forman un precipitado grumoso en presencia de los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} que contiene el agua dura. Los detergentes, por otra parte, forman sales solubles de sulfonato en presencia de estos iones. Esto permite que los detergentes sean más eficaces que los jabones con el agua dura.



Figura 4.7 *La elaboración del jabón* La lejía se producía al remojar las cenizas de la madera en agua. Después de varios días se separaba una solución básica de las cenizas insolubles y se combinaba con grasas animales. El jabón se formaba al reaccionar la lejía con la grasa.

Adaptado de Phillips, Strozak, Wistrom, *Química. Conceptos y aplicaciones*, 2a. ed., México, McGraw-Hill Interamericana, 2007, p. 455.

Los ácidos carboxílicos en la vida cotidiana

El *ácido metanoico* ($H—COOH$) o ácido fórmico, se encuentra en las hormigas, en el veneno de las abejas y en las ortigas. Se emplea en la industria textil, en el tratamiento de pieles, como antiséptico y antirreumático; en la fabricación de fumigantes, insecticidas, refrigerantes y disolventes, y en la fabricación de espejos.

El *ácido etanoico* ($CH_3—COOH$) o *acético* se usa en la elaboración del acetato de celulosa, en tintorerías, en la elaboración del vinagre y en la fabricación de plásticos, colorantes e insecticidas.

El *ácido oxálico* está en las espinacas, y se emplea en la elaboración de algunos limpiadores.

El *ácido ascórbico* es la vitamina C.

El *ácido cítrico* se encuentra en los limones y otros vegetales (es el causante del sabor ácido) (figura 4.8).



Figura 4.8 *Ácido cítrico* Es un ácido tricarboxílico que está presente en la mayoría de las frutas, sobre todo en cítricos como el limón y la naranja. Por ser buen antioxidante natural, se emplea en el envasado de muchos alimentos enlatados.

Otros ejemplos de ácidos orgánicos que están presentes en algunos alimentos, por ejemplo:

- El ácido benzoico en los arándanos agrios.
- El ácido tartárico en las uvas.
- El ácido láctico en la leche agria.
- El ácido málico en las manzanas verdes (figura 4.9).
- El ácido oleico en los aceites de oliva y de cacahuate (figura 4.10).



Figura 4.9 *Ácido málico* Es un ácido orgánico dicarboxílico presente en los vinos y en las manzanas ácidas. Se utiliza como agente saborizante en el procesamiento de algunos alimentos.



Figura 4.10 *Ácido oleico* Se encuentra en la mayoría de las grasas y aceites naturales aproximadamente en las siguientes proporciones: en el aceite de oliva, entre 70 a 75%; en el aguacate, 70%; en el aceite de semilla de uvas, entre 15 a 20%; en el aceite de girasol "alto-oleico" en 80% y en el girasol convencional en 35%.

4.2 Ésteres

Los **ésteres** provienen de los ácidos orgánicos y se forman cuando el átomo de hidrógeno del grupo funcional de los ácidos (—COOH) se sustituye por un radical alquilo (R).

$$\underset{\text{Ácido}}{CH_3—COOH} \rightarrow \underset{\text{Éster}}{CH_3—COO—CH_3}$$

Esta sustitución ocurre cuando reacciona un ácido orgánico con un alcohol.

$$CH_3—COOH + CH_3—CH_2—OH \rightarrow CH_3—COO—CH_2—CH_3 + H_2O$$

Ácido etanoico (acético)	Etanol	Etanoato (acetato) de etilo	Agua
Ácido	**Alcohol**	**Éster**	

Estructura y grupo funcional de los ésteres

El grupo funcional de los ésteres es

$$—COO— \qquad —\overset{\displaystyle O}{\overset{\|}{C}}—O—$$

y su representación general es R—COO—R (figura 4.11).

En las siguientes fórmulas semidesarrolladas se presenta en color azul el grupo funcional de los ésteres.

$$CH_3—COO—CH_3$$

$$CH_3—COO—CH_2—CH_3$$

$$CH_3—CH_2—COO—CH_3$$

$$CH_3—CH_2—COO—CH_2—CH_3$$

$$CH_3—COO—CH\begin{matrix} ↗ CH_3 \\ ↘ CH_3 \end{matrix}$$

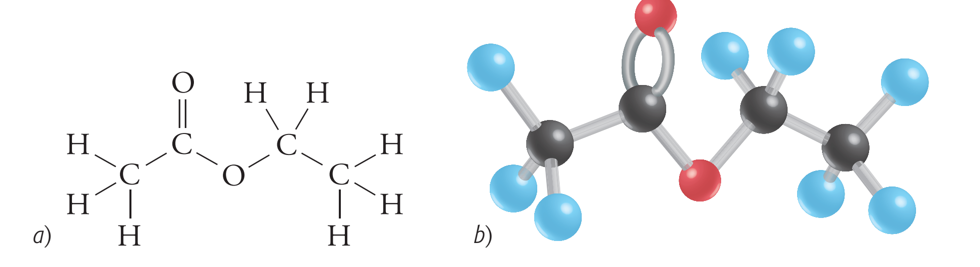


Figura 4.11 *Ejemplo de un éster* *a*) Fórmula desarrollada, *b*) Modelo de varillas y esferas del acetato de etilo.

Nomenclatura de los ésteres

Para nombrar a los ésteres se sustituye la terminación *-ico* del ácido del que provienen por *-ato* y al final se indica el nombre del radical alquilo (R).

$$CH_3—COOH—CH_3$$

Etanoato de metilo (IUPAC)
Acetato de metilo (común)

$$CH_3—CH_2—COO—CH_2—CH_3$$

Propanoato de etilo (IUPAC)
Propionato de etilo (común)

$$CH_3—COO—CH\begin{matrix} CH_3 \\ CH_3 \end{matrix}$$

Etanoato de isopropilo (IUPAC)
Acetato de isopropilo (común)

Los ésteres en la vida cotidiana

Los ésteres son muy abundantes en la naturaleza, y son los componentes principales de los aromas de flores y frutas, lo mismo que de sus sabores (figura 4.12).



Figura 4.12 *Las plantas, flores y frutas* Son fuente común de los ésteres. Los ésteres tienen colores agradables, y algunos son responsables del aroma y el sabor de los vinos.

Los ésteres que se obtienen de ácidos monocarboxílicos y alcoholes monovalentes se emplean en la preparación de bebidas refrescantes.

Algunos de los más comunes son: acetato de etilo (aroma de manzana), butirato de etilo (aroma de piña), acetato de isoamilo (aroma de plátano) y nonilato de etilo (aroma de membrillo) (figura 4.13).



Figura 4.13 *Sabores naturales* Algunos ésteres se emplean como saborizantes en productos alimenticios. Con frecuencia los sabores naturales son mezclas complejas de ésteres y otros compuestos, mientras que los saborizantes artificiales contienen pocos compuestos y el sabor puede no ser exactamente igual al natural.

Investiga

El significado de la palabra analgésico.

Los ésteres están presentes en muchos productos que cotidianamente utilizas en las actividades del hogar o en la escuela, como por ejemplo los siguientes:

- El ácido acetilsalicílico (único principio activo del medicamento llamado aspirina), que se forma por la reacción de ácidos salicílico y acético, es un medicamento de uso común como analgésico.

$$C_6H_4(OH)-COOH + OH-CO-CH_3 \longrightarrow C_6H_4(COOH)-O-CO-CH_3 + H_2O$$

Ácido salicílico — Ácido acético — Ácido acetilsalicílico (aspirina)

- La cera de abeja es una mezcla compleja; la siguiente fórmula corresponde a uno de esos componentes.

$$CH_3-(CH_2)_{14}-\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}-O-(CH_2)_{29}-CH_3$$

- La cera de carnauba también es una mezcla compleja; la siguiente fórmula corresponde a uno de sus principales componentes:

$$CH_3-(CH_2)_{24}-\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}-O-(CH_2)_{29}-CH_3$$

La cera de abeja y la de carnauba son ésteres que se emplean, la primera, para elaborar velas, y la segunda, para fabricar sustancias pulidoras para pisos y automóviles (figuras 4.14 y 4.15).



Figura 4.14 *Los lípidos* Las abejas fabrican lípidos que utilizan para formar la estructura del panal de su colmena. Las paredes del panal están formadas por una mezcla de lípidos que se conoce como cera de abeja.



Figura 4.15 *Cera de carnauba* Los usos de esta cera son diversos, desde aplicaciones alimenticias (chicles y chocolates confitados), hasta productos para obtener brillo, como betunes y grasas para calzado, así como ceras para pulir pisos y automóviles, en la industria estética, en cremas y cosméticos (labiales y pinturas).

Los ésteres también pueden formar grandes polímeros, como ocurre con el *Terylene* y el *Dacrón*, son **poliésteres** que se derivan del etilenglicol (glicol):

$$\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH_2}}-\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH_2}}$$

y del ácido tereftálico:

$$HOOC-C_6H_4-COOH$$

$$\underset{OH}{CH_2}-\underset{OH}{CH_2} + HOOC-C_6H_4-COOH \rightarrow OH-CH_2-CH_2-COO-C_6H_4-COOH + H_2O$$

Observa que la molécula del producto tiene un grupo —OH y un COOH en sus extremos, los que pueden seguir reaccionando y producir un polímero, cuya fórmula general es:

$$\left(CH_2-CH_2-COO-C_6H_4-COO\right)_n$$

Este polímero es el **polietilen-tereftalato (PET)**, conocido comercialmente como *Dacrón, Terylene* y *Terlenka.* Dicho poliéster se emplea para elaborar fibras textiles, películas, cintas, instrumentos de ingeniería (partes de maquinaria y equipos), entre otros.

Manos a la obra — Aromas sintéticos

Material

- 8 tubos de ensayo
- 2 vasos de precipitados de 100 mL
- 3 vasos de precipitados de 50 mL
- 4 pipetas
- 1 mechero
- 1 gradilla
- 1 pinzas para tubo
- 1 soporte universal
- 1 anillo de hierro
- 1 tela de alambre con asbesto
- 1 pipeta Pasteur, de vidrio

Sustancias

- 60 mL de agua (a temperatura ambiente)
- 60 mL de agua (helada)
- 3 gotas de ácido sulfúrico concentrado
- 3mL de ácido acético
- 2 mL de alcohol metílico
- 2 mL de alcohol isoamílico
- 2 mL de alcohol bencílico

Procedimiento

1. Añade con una pipeta graduada 1 mL de ácido acético y, con otra pipeta graduada limpia, 1 mL de alcohol metílico en un tubo de ensayo.
2. Desliza con una pipeta, por la pared de este tubo de ensayo, una gota de ácido sulfúrico concentrado.
3. Agita el tubo suavemente para que se mezcle su contenido. Es recomendable que seas muy precavido al realizar este movimiento.

4. Agrega 20 mL de agua a temperatura ambiente a un vaso de precipitados, y coloca dentro de éste el tubo de ensayo que contiene la mezcla que acabas de hacer; calienta el tubo a baño maría hasta que el agua del vaso hierva de 2 a 3 minutos.
5. Saca el tubo de ensayo y espera 30 segundos, luego vierte su contenido en un vaso de precipitados que tenga unos 20 mL de agua helada.
6. Huele el contenido arrastrando con la mano hacia la nariz los vapores del vaso de precipitados.
7. Repite la misma operación utilizando ácido acético (1 mL) y alcohol isoamílico (1 mL); ácido acético (1 mL) con alcohol bencílico (1 mL) percibiendo en ambos casos el aroma logrado (usa pipetas limpias para los alcoholes) y para el ácido acético utiliza la pipeta que ya habías usado para esta sustancia.

Resuelve

1. Con las pruebas realizadas completa la siguiente tabla.

Aroma	Nombre del éster	Fórmula semidesarrollada

2. ¿El aroma del producto obtenido es igual al que se percibe en las frutas, flores u otras plantas?
3. ¿Por qué para percibir los aromas es necesario verterlos en agua helada?

Adaptada de Zárraga, Velázquez, Rojero, *Química experimental. Prácticas de laboratorio*, México, McGraw-Hill Interamericana, 2004, p. 263-264.

4.3 Halogenuros de ácido

Los **halogenuros de ácido** se derivan de los ácidos orgánicos cuando se sustituye el radical —OH por un halógeno (X).

$$CH_3-\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}-OH \qquad\qquad CH_3-\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}-Cl$$

Ácido   Halogenuro de acilo

Su grupo funcional es —COX y su representación general es R—COX.

Para nombrar los halogenuros, al final del halógeno se agrega *-uro* (fluor*uro*, clo*ruro*, brom*uro*, yod*uro*) y se indica en seguida el nombre del ácido del que provienen, sustituyendo la terminación *-ico* por *-ilo*. Por ejemplo:

$$CH_3-COBr$$

Bromuro de etanoilo (IUPAC)
Bromuro de acetilo (común)

(Para recordar la nomenclatura según la IUPAC y la común, revisa los nombres de los ácidos en el **cuadro 4.1.**)

Los más importantes son los cloruros de acilo (R—COCl).

CH_3-COCl	Cloruro de etanoilo
$H-COCl$	Cloruro de metanoilo
CH_3-CH_2-COCl	Cloruro de propanoilo

4.4 Anhídridos

Los **anhídridos** de los ácidos carboxílicos son compuestos a los que, en teoría, se puede considerar como el resultado de eliminar una molécula de agua a dos grupos carboxílicos:

$$\begin{array}{l} R-COOH \\ R-COOH \end{array} \longrightarrow H_2O + \begin{array}{l} R-C(=O) \\ \quad\;\; \diagdown O \\ R-C(=O) \diagup \end{array}$$

Ácido — Agua — Anhídrido

Examina el siguiente ejemplo:

$$\begin{array}{l} CH_3-COOH \\ CH_3-COOH \end{array} \longrightarrow H_2O + \begin{array}{l} CH_3-C(=O) \\ \qquad\quad \diagdown O \\ CH_3-C(=O) \diagup \end{array}$$

Ácido etanoico — Agua — Anhídrido etanoico

Su grupo funcional es —CO—O—OC—, y su representación general:

$$R-CO-O-CO-R \qquad (R-\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}-O-\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}-R)$$

Anhídridos simples y mixtos

Si los radicales alquilo son iguales, el anhídrido es simétrico o simple, y si son distintos, el anhídrido es disimétrico o mixto.

En las siguientes fórmulas podrás ver en color azul el grupo funcional de los anhídridos.

Anhídridos simples

$$CH_3-CO-O-CO-CH_3 \quad \text{o también} \quad CH_3-\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}-O-\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}-CH_3$$

$$CH_3-CH_2-CO-O-CO-CH_2-CH_3$$

$$CH_3-\underset{\underset{\displaystyle CH_3}{|}}{CH}-CO-O-CO-\underset{\underset{\displaystyle CH_3}{|}}{CH}-CH_3$$

Anhídridos mixtos

$$CH_3—CO—O—CO—CH_2—CH_3$$
$$CH_3—CH_2—CO—O—CO—CH_2—CH_2—CH_3$$
$$CH_3—CO—O—CO—CH_2—CH_2—CH_3$$

Para nombrar a los anhídridos se indica la palabra anhídrido seguida del nombre del ácido del que provienen, como se muestra en estos ejemplos:

$$CH_3—CO—O—CO—CH_3$$
Anhídrido etanoico (IUPAC)
Anhídrido acético (común)

$$H—CO—O—CO—H$$
Anhídrido metanoico (IUPAC)
Anhídrido fórmico (común)

$$CH_3—CO—O—CO—H$$
Anhídrido etanometanoico

Los anhídridos en la vida cotidiana

Uno de los compuestos más importantes de esta serie es el anhídrido etanoico (acético), que se obtiene al hacer reaccionar en caliente el etanoato (acetato) de sodio con cloruro de acetilo:

$$CH_3—CO—O—Na + CH_3—COCl \rightarrow + CH_3—CO—O—CO—CH_3 + NaCl$$

El anhídrido acético es un líquido con olor a ácido acético; puede absorber la humedad (H_2O) del aire para transformarse en ácido acético.

Es más denso que el agua y se emplea en el laboratorio para síntesis orgánicas y en la industria farmacéutica para hacer la aspirina y otros fármacos (figura 4.16). Se usa también para la elaboración del acetato de celulosa para la obtención de rayón, resinas, plásticos y colorantes.



Figura 4.16 *El anhídrido acético* Se emplea en la industria farmacéutica para hacer la aspirina y otros fármacos.

Palabras clave

ácidos carboxílicos, 103
ácidos dicarboxílicos, 104
ácidos grasos no saturados, 106
ácidos grasos saturados, 106
ácidos monocarboxílicos, 104
anhídridos, 115
ésteres, 110
grupo carboxilo, 104
halogenuros de ácido, 114
jabones, 107
poliésteres, 113

Lo que aprendí

1. ¿Cómo se forman los ácidos carboxílicos?

2. ¿Qué nombre recibe el grupo —COOH?

3. ¿Qué caracteriza en su estructura a un ácido dibásico?

4. ¿Cómo se forma un jabón?

5. ¿Cuál es el nombre común del ácido ascórbico?

6. ¿Qué ácido está contenido en el vinagre?

7. ¿Qué ácido es el responsable del sabor agrio de los limones y otros vegetales?

8. ¿Cómo se forman los ésteres?

9. ¿De qué sustancias se deriva el poliéster denominado *Dacrón*? Escribe algunas de sus aplicaciones.

10. ¿En dónde se encuentran los ésteres en la naturaleza?

11. ¿Cómo se forman los halogenuros de ácido?

12. ¿Cómo se forman los anhídridos?

13. Escribe la fórmula de un anhídrido mixto.

14. Escribe la fórmula general que representa a cada uno de los siguientes grupos funcionales:

a) Ácido carboxílico

b) Éster

c) Haluro de acilo

d) Anhídrido

15. Escribe la fórmula semidesarrollada, el nombre según la IUPAC y el nombre común de los siguientes compuestos, como lo indica en el encabezado de cada columna.

Fórmula	Nombre IUPAC	Nombre común
CH_3—CO—O—CO—CH_3		
		Cloruro de acetilo
	Etanoato de metilo	
CH_3—COH		Ácido fórmico
	Ácido acetilsalicílico	
HOOC—COOH		

Unidad 5

Grupos funcionales III: aminas, amidas y aminoácidos

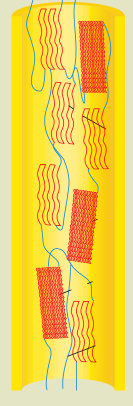


La seda que produce la araña para tejer sus redes es un compuesto orgánico que está formado por aminoácidos. Este compuesto es el mismo que producen los gusanos de seda.

Contenido

Objetivo de la unidad

Al finalizar esta unidad, el alumno conocerá la formación, estructura, grupo funcional, notación y nomenclatura de la IUPAC y la común, así como las propiedades de las aminas, las amidas y los aminoácidos.

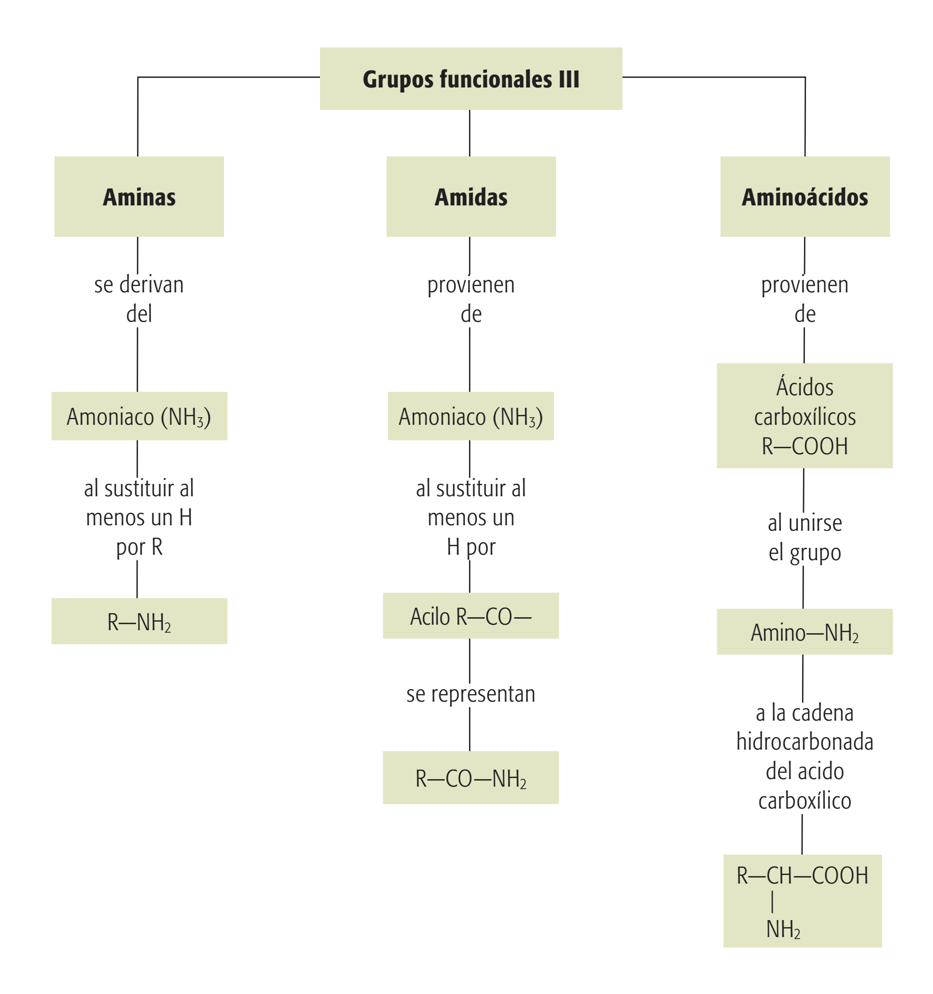


Serie de aminoácidos en la tela de una araña

¿Cuánto sabes?

1. ¿Cuál es la fórmula del amoniaco?
2. Escribe las fórmulas y nombres de dos radicales alquilo (R).
3. Describe el olor a pescado en descomposición.
4. Menciona algunos artículos de uso común donde se emplea el nailon.
5. ¿En dónde se encuentra, principalmente, la nicotina?
6. ¿Con cuál nombre genérico puedes identificar la cocaína, la morfina y la heroína?
7. Escribe la fórmula general del grupo acilo.
8. ¿Qué es un barbitúrico?

Mapa conceptual Unidad 5.1



Introducción

Probablemente hayas olido un pescado podrido o un animal muerto en descomposición. Lo mismo conoces remedios para el catarro, o has oído de la anilina y también sabes lo que es nicotina; en estas sustancias están presentes las **aminas**. Las **amidas** se encuentran en la urea, en la sacarina y en los barbitúricos, y los **aminoácidos** son los componentes de las proteínas. Tanto las aminas como las amidas y los aminoácidos son derivados nitrogenados de los hidrocarburos, de ellos se tratará en la presente unidad.

5.1 Aminas

Un compuesto orgánico que contiene un **grupo amino** recibe el nombre de *amina*. Las aminas son moléculas biológicas importantes porque forman parte de las proteínas.

Las aminas son compuestos que se derivan del amoniaco (NH_3). Se forman cuando se sustituyen uno, dos o los tres átomos de hidrógeno del amoniaco, por radicales alquilo (R); estas aminas pueden ser acíclicas o alifáticas.

Clasificación de las aminas

Si se reemplaza un solo átomo de hidrógeno se obtiene una amina primaria.

H–N(••)–H, con H abajo

Amoniaco (NH_3)

R–N(••)–H, con H abajo

Amina primaria ($R—NH_2$)

Si se reemplazan dos átomos de hidrógeno del amoniaco, se obtiene una *amina secundaria* (los radicales que sustituyen a los hidrógenos pueden ser iguales o diferentes).

R_1–N(••)–H, con R_2 abajo

Amina secundaria ($R_1—NH—R_2$)

Si se sustituyen tres átomos de hidrógeno del amoniaco, la amina obtenida es terciaria (en este caso los radicales también pueden ser iguales o diferentes).

R_1–N(••)–R_3, con R_2 abajo

Amina terciaria

Si los radicales alquilo que sustituyen a los hidrógenos son iguales, se obtiene una amina simple; si son diferentes, la amina es mixta.

Estructura electrónica de las aminas

Su estructura electrónica es:

$$\begin{array}{c} R \\ H \mathbin{\overset{\times}{\cdot}} \ddot{N} : \\ H \end{array} \qquad \begin{array}{c} R \\ R \mathbin{\overset{\times}{\cdot}} \ddot{N} : \\ H \end{array} \qquad \begin{array}{c} R \\ R \mathbin{\overset{\times}{\cdot}} \ddot{N} : \\ R \end{array}$$

Amina primaria — Amina secundaria — Amina terciaria

Notación y nomenclatura de las aminas

Para nombrar a las aminas primarias, se indica el nombre del radical alquilo y se le agrega el sufijo *-amina*, como se muestra en los siguientes ejemplos:

$CH_3—NH_2$	Metilamina
$CH_3—CH_2—CH_2—NH_2$	Propilamina

En el caso de las aminas secundarias y terciarias, se antepone al nombre del radical el prefijo *di-* o *tri-*, respectivamente; cuando se trate del mismo radical se termina con el sufijo *-amina*; y cuando los radicales sean diferentes, se mencionan en orden alfabético con el sufijo *-amina*.

$CH_3—NH—CH_3$ Dimetilamina

$$\begin{array}{l} CH_3—CH_2—N—CH_2—CH_3 \\ \qquad\qquad\quad | \\ \qquad\qquad\;\; CH_2 \\ \qquad\qquad\quad | \\ \qquad\qquad\;\; CH_3 \end{array}$$

Trietilamina

$CH_3—CH_2—NH—CH_3$ Etilmetilamina

$$\begin{array}{l} CH_3—CH_2—N—CH_2—CH_2—CH_3 \\ \qquad\qquad\quad | \\ \qquad\qquad\;\; CH_3 \end{array}$$

Etilmetilpropilamina

$$\begin{array}{l} \qquad\qquad\qquad\qquad\quad CH_3 \\ \qquad\qquad\qquad\qquad\;\, / \\ CH_3—CH_2—N—CH \\ \qquad\qquad\quad | \qquad\quad \backslash \\ \qquad\qquad\; CH_2 \qquad CH_3 \\ \qquad\qquad\quad | \\ \qquad\qquad\; CH_3 \end{array}$$

Dietilisopropilamina

Cuando en la molécula existen dos o más grupos amino ($—NH_2$) el compuesto es una diamina.

$NH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—NH_2$ Tetrametilendiamina

También existen aminas derivadas del benceno, como la que se presenta a continuación.

NH_2 (unido al anillo bencénico)

Anilina

Investiga

¿Sabes para qué se utiliza la anilina?

Propiedades de las aminas

La metilamina, la dimetilamina y la trimetilamina son gases a temperatura ambiente. Las aminas más pesadas son líquidas y volátiles. Los primeros términos de esta serie tienen olor desagradable a amoniaco y a pescado en descomposición, mientras las primeras aminas son muy solubles en agua.

Las aminas forman soluciones básicas con el agua. Esta reacción es semejante a la del amoniaco con el agua.

$$NH_2 + H_2O \rightarrow NH_4OH$$

A continuación se presentan algunos ejemplos de reacciones de aminas con agua.

$$CH_3{-}CH_2{-}NH_2 + H_2O \rightarrow CH_3{-}CH_2{-}NH{-}OH$$

Hidróxido de etilamonio

$$CH_3{-}NH{-}CH_3 + H_2O \rightarrow CH_3{-}\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{N}}{-}CH_3$$

Hidróxido de dimetilamonio

$$CH_3{-}\overset{\displaystyle CH_3}{\overset{|}{N}}{-}CH_3 + H_2O \rightarrow CH_3{-}\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{\overset{\displaystyle CH_3}{\overset{|}{NH}}}}{-}CH_3$$

Hidróxido de trimetilamonio

Las aminas reaccionan con los ácidos para formar sales, como se muestra a continuación.

$$CH_3{-}NH_2 + HBr \rightarrow CH_3{-}NH_3{-}Br$$

Bromuro de metilamonio

$$CH_3{-}CH_2{-}NH{-}CH_2{-}CH_3 + HCl \rightarrow CH_3{-}CH_2{-}\underset{\displaystyle Cl}{\underset{|}{NH}}{-}CH_2{-}CH_3$$

Cloruro de dietilamonio

Las aminas en la vida cotidiana

La trimetilamina, $N(CH_3)_3$, se encuentra en los animales marinos. Es un gas incoloro de olor desagradable muy parecido al del pescado podrido (figura 5.1).

La tetrametilendiamina ($NH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}NH_2$) y la pentametilendiamina ($NH_2{-}(CH_2)_5{-}NH_2$), llamadas respectivamente **putrescina** y **cadaverina**, se forman por la descomposición de las proteínas cuando muere un organismo (figura 5.2).



Figura 5.1 Las aminas son volátiles y llegan al olfato provocando olor desagradable, como sucede con el olor a pescado, sobre todo cuando éste se encuentra en estado de descomposición.

Figura 5.2 *El olor de la amina* Cuando un organismo muere, sus proteínas se descomponen y producen muchos compuestos diferentes que contienen el grupo funcional amino. Dos de estos compuestos reciben el nombre de *putrescina* y *cadaverina*. Estos compuestos tienen un olor característico y desagradable que pueden detectar perros entrenados para localizar restos humanos y ayudar en investigaciones forenses. La cadaverina contribuye al mal olor del aliento.

```
        H   H   H   H
H       |   |   |   |     H
 \      |   |   |   |    /
  N—C—C—C—C—N
 /      |   |   |   |    \
H       |   |   |   |     H
        H   H   H   H
```

Putrescina



¿Sabías que...?

Cuando Wallace Carotthers y colaboradores descubrieron el nailon, para DuPont, en la década de 1930, no se pensó que tendría propiedades útiles y se guardó sin que la compañía lo patentara. Fue hasta que algunos químicos de la misma compañía estaban jugando para ver cuánto se podía estirar una cuerda de nailon, cuando se prestó atención a la fuerza y la apariencia sedosa de los hilos de nailon. En 1939 se introdujeron las medias de nailon en el mundo de la belleza de Nueva York, anunciándolo como "¡El nailon, la seda sintética hecha de hulla, aire y agua!". En las primeras cuatro horas, después de salir al mercado en la ciudad de Nueva York, el 15 de mayo de 1940, se vendieron cuatro millones de pares de medias de nailon (figura 5.4).



Figura 5.4 *Medias de nailon* Cuando se empezaron a vender tuvieron una gran demanda por su elasticidad y resistencia, además eran mucho más económicas que las medias de seda.

La hexametilendiamina [NH_2—$(CH_2)_6$—NH_2] se emplea en la elaboración del nailon. El **nailon 6,6** se obtiene a partir del ácido hexanodioico (ácido adípico) COOH—$(CH_2)_4$—COOH y la 1,6-diamina (hexametilendiamina) NH_2—$(CH_2)_6$—NH_2 (figura 5.3).

$$HOOC—(CH_2)_4—COOH + H—\overset{\displaystyle H \atop |}{N}—(CH_2)_6—NH_2 \rightarrow HOOC—(CH_2)_4—CO—NH—(CH_2)_6—NH_2 + H_2O$$



Figura 5.3 *El nailon* Se sabe que el primer producto elaborado con nailon, antes que las medias, las cuerdas o los paracaídas, fue el cepillo de dientes con cerdas de nailon.

Como se aprecia, el producto tiene un grupo —COOH en un extremo y un grupo —NH_2 en el otro; el grupo –COOH del ácido adípico reacciona con el grupo —NH_2 de la hexametilendiamina.

La reacción puede continuar, puesto que la molécula producida tiene los grupos —NH_2 y —COOH en los extremos.

La estructura del nailon 6,6 es

$$[—OC—(—CH_2)_4—CO—NH—(—(CH_2)_6—NH—]_n$$

Una macromolécula de nailon puede tener doscientas o más unidades de los monómeros y recibe el nombre de nailon 6,6 ya que cada una de las materias primas (ácido adípico y hexametilendiamina) tienen seis átomos de carbono.

Las fibras de nailon son muy fuertes y de baja densidad. Se emplean para fabricar prendas de vestir y cuerdas para llantas, entre otras aplicaciones (figura 5.5).

El nailon es el polímero más conocido, producido por reacción de condensación, llamada así porque una parte del monómero no se incorpora al polímero y se separa, por lo general como agua, a medida que se combinan los monómeros.

El nailon es un copolímero porque en él se combinan dos tipos diferentes de monómero para formar la cadena.



¿Sabías que...?

Un *homopolímero* es un polímero formado por un solo tipo de monómero y que un *dímero* es una molécula formada por dos monómeros.

Figura 5.5 *Fibras de nailon* Con estas fibras se pueden hacer además prendas de vestir y cuerdas para neumáticos.

Manos a la obra — Elaboración del nailon

Materiales

- 1 vaso de precipitados de 100 mL
- 1 agitador de vidrio
- 30 mL de hexametilendiamina al 5%
- 20 mL de ácido hexanodioico (adípico)
- agua destilada

Procedimiento

1. Vierte los 30 mL de la solución acuosa al 5% de hexametilendiamina en el vaso de precipitados y agrega poco a poco los 20 mL del ácido hexanodioico (adípico).
2. Deja reposar y cuando se enturbie la interfase (región que separa las dos sustancias inmiscibles) introduce con cuidado el agitador y jala una hebra, la que enrollarás despacio.
3. Lava con agua destilada la hebra y registra tus observaciones.
4. Coloca los residuos en recipientes que te indique tu profesor, ya que las sustancias usadas son tóxicas, corrosivas e irritantes.

Nota: En lugar de ácido adípico puedes usar cloruro de adipoílo $\mathrm{Cl{-}\underset{\underset{O}{\|}}{C}{-}(CH_2)_4{-}\underset{\underset{O}{\|}}{C}{-}Cl}$ disuelto en tetracloruro de carbono, CCl_4.



Figura 5.6 La reacción para formar nailon sucede en la interfase de dos capas de líquidos inmiscibles. La parte baja contiene cloruro de adipoílo $\mathrm{Cl{-}\underset{\underset{O}{\|}}{C}{-}(CH_2)_4{-}\underset{\underset{O}{\|}}{C}{-}Cl}$ disuelto en CCl_4 o ácido adípico y la capa superior contiene hexametilenediamina, $H_2N{-}(CH_2)_6{-}NH_2$ disuelta en agua. Una molécula de HCl se forma con cada enlace de C—N que se establece.

Adaptado de García Becerril, María de Lourdes, *Química II*, México, McGraw-Hill Interamericana Editores, 2007, p. 209.

Algunas aminas derivadas del benceno se emplean como medicamentos:

- La difenilhidramina se usa como antihistamínico.

$$CH_5-\underset{\overset{|}{CH_5}}{N}-CH_2-CH_2-O-CH(C_6H_5)_2$$

- La epinefrina (adrenalina)

$$CH_3-NH-CH_2-\overset{\overset{OH}{|}}{CH}-C_6H_3(OH)_2$$

  y la bencedrina

$$NH_2-\overset{\overset{CH_3}{|}}{CH}-CH_2-C_6H_5$$

se emplean como remedios para el catarro y el asma, respectivamente.

Algunas aminas heterocíclicas reciben el nombre de *alcaloides*, como la quinina, que sirve para tratar el paludismo; la **nicotina**, que se encuentra en el tabaco y es sumamente tóxica, y la *cocaína*, *morfina*, *heroína*, etcétera (figura 5.7). Los alcaloides producen euforia y luego depresión y el deseo de ingerir más cantidad de la sustancia (droga); causan enormes daños al organismo de tal forma que pueden producir la muerte.

Investiga

¿Qué es la adrenalina? ¿Cuáles son sus efectos en el organismo?



Figura 5.7 *La nicotina* Se encuentra en el tabaco y es una sustancia sumamente tóxica y adictiva.

5.2 Amidas

Las **amidas** acíclicas son sustancias que resultan al sustituir uno de los hidrógenos del amoniaco (NH_3) por un grupo acilo (R—CO—). Los otros hidrógenos pueden sustituirse por cadenas hidrocarbonadas.

Clasificación de las amidas

Las amidas se clasifican en *primarias*, *secundarias* y *terciarias*.

Una amida primaria

O
‖
C
R NH$_2$

Una amida secundaria

O
‖
C R$_2$
R$_1$ NH

Una amida terciaria

O
‖
C R$_2$
R$_1$ N
|
R$_3$

Estructura y grupo funcional de las amidas

El grupo funcional de las amidas es

O
‖
C
N
|

Notación y nomenclatura de las amidas

Para nombrar a las amidas primarias se sustituye en el nombre del ácido relacionado, la terminación *-ico* por *-amida*; en las amidas secundarias y terciarias se nombran los ácidos en orden alfabetico sin la terminación *-ico*, como se observa en la siguiente tabla:

H—CO—NH$_2$	Metanoamida (IUPAC) Formamida (común)
CH$_3$—CO—NH$_2$	Etanoamida (IUPAC) Acetamida (común)
CH$_3$—CH$_2$—CO—NH$_2$	Propanoamida (IUPAC) Propionamida (común)
CH$_3$—CO—NH—CO—CH$_2$—CH$_3$	Etano-propanoamida
CH$_3$—CO—N—CH$_3$ | CH$_2$—CH$_2$—CH$_3$	Etano-metano-propanoamida

Monoamidas, diamidas y triamidas

Las amidas pueden ser monoamidas, diamidas o triamidas según el número de funciones amida ($—CO—NH_2$) que se encuentran en la molécula.

$$\begin{array}{l} CO—NH_2 \\ | \\ CH_2 \\ | \\ CO—NH_2 \end{array} \quad \text{Propano}\textit{diamida}$$

$$\begin{array}{c} NH_2 \\ | \\ CO \\ | \\ NH_2 \end{array} \quad \text{Urea}$$

La urea es una diamida producto final de la degradación de las proteínas; fue la primera sustancia orgánica que se pudo obtener sintéticamente en el laboratorio.

Las amidas en la vida cotidiana

¿Sabías que...?

La uremia es una enfermedad que afecta el cerebro y a los sistemas respiratorio, digestivo y circulatorio.

La diamida carbónica, conocida comúnmente como *urea*, se encuentra en la orina de los mamíferos; industrialmente se obtiene calentando dióxido de carbono (CO_2) y amoniaco (NH_3) y se usa principalmente en la fabricación de plásticos y como fertilizante nitrogenado. En el cuerpo humano, los riñones retienen la urea de la sangre y la desechan; pero cuando éstos no funcionan bien, la urea no se elimina y se acumula en la sangre y en los tejidos produciendo una enfermedad llamada *uremia*.

Algunas amidas sintéticas, como la *sacarina*, se emplean como sustitutos del azúcar.

Investiga

¿Qué consecuencias provocan los barbitúricos?

Las **amidas cíclicas** constituyen sustancias llamadas **barbitúricos**, que actúan como hipnóticos y sedantes, y causan adicción. Algunos medicamentos son barbitúricos: fenobarbital, nembutal, seconal, valium, equanil, etcétera. En virtud de que son adictivos su venta está controlada.

5.3 Aminoácidos

Se ha demostrado que de los componentes de las proteínas, la más importante de las clases de compuestos orgánicos son los aminoácidos.

Como su nombre lo indica, contienen en su molécula grupos carboxilo ($—COOH$) y amino ($—NH_2$):

Aminoácido:

$$\begin{array}{l} CH_2—COOH \longleftarrow \text{Grupo carboxilo} \\ | \\ NH_2 \longleftarrow \text{Grupo amino o amígeno} \end{array}$$

El grupo amino ($—NH_2$) se encuentra unido a un átomo de carbono de la cadena hidrocarbonada que también contiene al ácido.

El grupo funcional de los aminoácidos es:

$$\begin{array}{c} —CH—COOH \\ | \\ NH_2 \end{array}$$

Nomenclatura de la IUPAC y la común y abreviaturas de algunos aminoácidos

Para nombrar a los aminoácidos se anteponen las letras del alfabeto griego alfa (α), beta (β), gamma (γ) y delta (δ) si el grupo amino se encuentra unido al carbono 1, 2, 3 o 4, respectivamente, contando a partir del grupo carboxilo.

$$\begin{matrix} & 4 & & 3 & & 2 & & 1 & \\ — & C & — & C & — & C & — & C & —COOH \\ & \delta & & \gamma & & \beta & & \alpha & \end{matrix}$$

Para nombrarlos se antepone al nombre del ácido el prefijo *amino-*. Observa el siguiente ejemplo:

$$\begin{matrix} CH_3— & CH & —COOH \\ & | & \\ & NH_2 & \end{matrix}$$

Ácido α-*amino* propanoico (amino propiónico)

Los nombres comunes no siguen método alguno. El cuadro 5.1 indica el nombre (según la IUPAC), la fórmula semidesarrollada, el nombre común y la abreviatura de algunos aminoácidos.

Cuadro 5.1 Nombre y abreviatura de algunos aminoácidos.

Nombre IUPAC	Fórmula semidesarrollada	Nombre común	Abreviatura
Ácido α-amino-etanoico	$CH_2(NH_2)—COOH$	Glicina	Gli
Ácido α-amino-propanoico	$CH_3—CH(NH_2)—COOH$	Alanina	Ala
Ácido α-amino-β-metilbutanoico (ácido aminoisovaleriánico)	$CH_3—CH(CH_3)—CH(NH_2)—COOH$	Valina	Val
Ácido α-amino-γ-metilpentanoico (ácido-α-aminocaprónico)	$CH_3—CH(CH_3)—CH_2—CH(NH_2)—COOH$	Leucina	Leu

Componentes de las proteínas

Las proteínas están formadas por veinte aminoácidos diferentes. Las proteínas se forman mediante reacciones de *polimerización* (condensación): son sustancias complejas formadas por largas cadenas de aminoácidos.

Observa en el siguiente ejemplo lo que ocurre cuando se combinan dos aminoácidos:

La palabra y su raíz

poli (griego) *polýs* numeroso o mucho. Prefijo que significa "mucho, numerosos, varios".

$$\underset{\substack{\text{Ácido aminoetanoico}\\ \text{Glicina}\\ \text{(Gli)}}}{NH_2-CH_2-\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}-OH} \quad + \quad \underset{\substack{\text{Ácido aminopropanoico}\\ \text{Alanina}\\ \text{(Ala)}}}{\overset{\overset{\displaystyle H}{|}}{N}H-\underset{\underset{\displaystyle CH_3}{|}}{CH}-C-OH}$$

El grupo —OH de un aminoácido se une con el —H del grupo amino del otro aminoácido para formar agua y quedar un grupo amido que une a los dos aminoácidos.

$$-\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}-\overset{\overset{\displaystyle H}{|}}{N}-$$

En bioquímica se llama *enlace peptídico* al grupo amido cuando se encuentra en una proteína. En el ejemplo siguiente quedaría:

$$NH_2-CH_2-\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}-\overset{\overset{\displaystyle H}{|}}{N}-\underset{\underset{\displaystyle CH_3}{|}}{CH}-\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}-OH$$

Enlace peptídico

En este caso, el compuesto resultante es un **dipéptido** y se puede abreviar de la siguiente manera: (Gli)(Ala). Si observas los extremos de este compuesto:

$$H-\overset{\overset{\displaystyle H}{|}}{N}- \quad \text{y} \quad -\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}-OH$$

podrás darte cuenta de que al agregar más aminoácidos, por medio de la misma reacción, se puede formar una cadena larga llamada *polipéptido*.

Una proteína puede estar formada por una sola cadena polipeptídica, no obstante la mayoría están formadas por dos o más cadenas distintas (figura 5.8).

¿Sabías que...?

La seda es un polímero que se produce de manera natural.





Figura 5.8 La seda es muy fuerte, elástica y ligera. Está formada por largas cadenas de aminoácidos.

Lectura Plásticos de origen vegetal

El viejo deseo de cultivar plásticos está por realizarse. El mundo de los plásticos abarca desde plásticos comunes hasta ropa y piezas de automóviles. Aunque la industria petroquímica aporta una gran variedad de plásticos, hay una profunda preocupación de que las reservas petrolíferas se agoten, igual que los productos que se obtienen de ellos.

De esta manera, los ingenieros bioquímicos se dieron a la tarea de elaborar plásticos a partir de las plantas, con las siguientes ventajas: provienen de recursos renovables y biodegradables.

Estos plásticos, denominados *plásticos verdes*, se obtienen de tres formas: conversión de azúcares vegetales en plástico, producción de plástico en el interior de microorganismos y producción de plásticos dentro de las plantas de maíz, trigo, remolacha y otros cultivos.

Hace algunos años, unas de las principales empresas agroindustriales en Estados Unidos, la Cargill, y la Dow Chemical, se propusieron trabajar juntas para, a partir de azúcar de maíz y otras plantas, fabricar un plástico llamado polilactida (PLA). Los microorganismos transforman el azúcar en ácido láctico; después, las moléculas del ácido láctico se unen a cadenas de plástico con propiedades semejantes al tereftalato de polietileno. Al conocer esto, Cargill inició la producción masiva del PLA.

Otra empresa de investigación química, la británica Imperial Chemical Industries (ICI), se especializó en la producción de un segundo plástico, el polihidroxialcanoato (PHA) en el cual bacteria *Rolstonia eutropha* convierte directamente el azúcar en un plástico biodegradable.

Otras empresas, incluida la Monsanto, e investigadores universitarios, han canalizado sus esfuerzos para producir PHA por una tercera vía: que el plástico se produzca directamente en la planta. En 1994 Monsanto comenzó a producir un PHA flexible dentro del maíz con el fin de que la producción de plástico no compita con la de los alimentos. El plástico se forma en el tallo y las hojas, de tal forma que además de la cosecha del grano de maíz, se cultivaría al mismo tiempo el plástico.

A los investigadores Tellman U. Gerngross y Steven C. Slater se les debe un mejor conocimiento de la zimología y la genética productora de plásticos.

Adaptado de Zárraga, Velázquez, Rojero, Castells, *Química*, México, McGraw-Hill Interamericana Editores, 2004, pp. 272-273.

Para un repaso de los grupos funcionales tratados en las unidades 3, 4 y 5, observa el siguiente cuadro:

Cuadro 5.2 Principales grupos funcionales orgánicos.

		Fórmula general		
Nombre	**Grupo funcional**	**Desarrollada**	**Semidesarrollada**	**Ejemplo**
Derivado halogenado	—X (F, Cl, Br, I)	R—X	R—X	$CH_3—CH_2—I$
Alcohol (primario)	$—CH_2—OH$	R—C(H)(H)—O—H	$R—CH_2OH$	$CH_3—CH_2—OH$
Alcohol (secundario)	>CH—OH	R—C(R)(H)—O—H	R(R)COOH	$CH_3—CH(OH)—CH_2—CH_3$

Nombre	Grupo funcional	Fórmula general		Ejemplo
		Desarrollada	Semidesarrollada	
Alcohol (terciario)	—C(—)(—)—OH	R—C(R)(R)—O—H	R—C(R)(R)OH	CH_3—C(CH_3)(CH_3)—OH
Aldehído	—CHO	R—C(=O)—H	R—CHO	CH_3—CHO
Cetona	—C=O	R—C(=O)—R	R—CO—R	CH_3—C(=O)—CH_3
Éter	—O—	R-O-R	R—O—R	CH_3—O—CH_2—CH_3
Amina (primaria)	—NH_2	R—N(H)—H	R—NH_2	CH_3—NH_2
Amina (secundaria)	>NH	R(R)N—H	R(R)NH	CH_3—CH_2—NH—CH_3
Amina (terciaria)	—N(—)—	R(R)N—R	R(R)N—R	CH_3—N(CH_3)—CH_2—CH_3
Ácido carboxílico	—COOH	R—C(=O)—O—H	R—COOH	CH_3—COOH
Éster	—COO—	R—C(=O)—O—R	R—COO—R	CH_3—COO—CH_3
Halogenuros de ácido	—COX	R—C(=O)—X	R—CO—X	CH_3—COBr
Anhídrido	CO—O—CO—	R—C(=O)—O—C(=O)—	R—CO—O—CO—R	CH_3—CO—O—CO—CH_3
Amida (primaria)	—CO—NH_2	R—C(=O)—N(H)—H	R-CO-NH_2	CH_3—CH_2—CO—NH_2

Nombre	Grupo funcional	Fórmula general: Desarrollada	Fórmula general: Semidesarrollada	Ejemplo
Amida (secundaria)	—CO—NH—	R—C(=O)—N(H)—R	R—CO—NH—R	CH_3—C(=O)—N(H)—CH_2—CH_3
Amida (terciaria)	—CO—N<	R—C(=O)—N(R)—R	R—CO—N(R)—R	CH_3—C(=O)—N(CH_2—CH_3)—CH(CH_3)—CH_3
Aminoácidos	—CH(—NH_2)—COOH	R—C(H)(N(H)H)—C(=O)—O—H	R—CH(—NH_2)—COOH	CH_3—CH(—NH_2)—COOH

Palabras clave

amidas, 123
aminas, 123
aminoácidos, 123
barbitúricos, 130
cadaverina, 125
dipéptido, 132
grupo amino, 123
nicotina, 128
nailon, 126
polipéptido, 132
putrecina, 125

Lo que aprendí

1. Considerando el NH_3 ¿cómo se forman las aminas secundarias?

____

____

____

2. ¿Qué nombre reciben las aminas en donde, cuando menos, un radical alquilo es diferente a los demás?

____

____

____

3. Representa con estructuras de Lewis la metilamina.

4. ¿A qué se llama diamina?

5. Las aminas reaccionan con el agua para formar bases. Completa la siguiente ecuación:

$CH_3—NH_2 + H_2O \rightarrow$ ______

6. Escribe el grupo funcional de las amidas primarias.

7. ¿Cuál amina se emplea en la elaboración del nailon 6,6? Escribe su fórmula. ______

8. ¿Qué son los alcaloides? Escribe el nombre común de tres de ellos.

9. Escribe la fórmula general de una amida secundaria.

10. ¿Cuál es el nombre químico de la urea? Escribe una aplicación de esta sustancia.

11. Escribe el nombre común de tres barbitúricos constituidos por amidas cíclicas.

12. ¿Qué constituyen en los organismos vivos los aminoácidos?

13. ¿Qué compuestos son los componentes de las proteínas?

14. ¿Cómo se forma un enlace peptídico?

15. Escribe el nombre de los siguientes grupos funcionales:

$—NH_2$ ______

R—CO— ______

$—\overset{O}{\overset{\|}{C}}—\overset{H}{\overset{|}{N}}—$ ______

$—\overset{NH_2}{\overset{|}{CH}}—COOH$ ______

16. Escribe la fórmula, el nombre según la IUPAC y el nombre común de los siguientes compuestos. Indica a la derecha el grupo funcional que contienen.

Fórmula	Nombre (IUPAC)	Nombre común	Grupo funcional
$CH_3—CH_2—NH—CH_2—CH_3$			
	Etanoamida		
		Alanina	
$H—CO—NH_2$			
		Urea	

Unidad 6

Biomoléculas

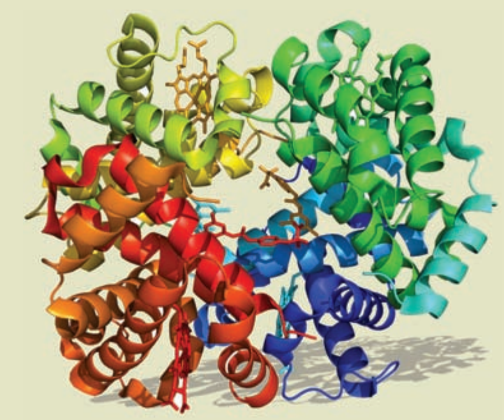
Las células de la sangre, como las que se muestran en esta imagen, se mueven por todo tu cuerpo. Estas células llevan oxígeno de tus pulmones a todas las partes de tu organismo y luego regresan con gases de desecho para que sean expulsados por tus pulmones, como CO_2. Éste es sólo uno de los muchos procesos químicos que ocurren en tu cuerpo.

Al pie de la siguiente página, a la derecha, aparece la molécula responsable de este proceso: la hemoglobina.

Contenido

Objetivo de la unidad

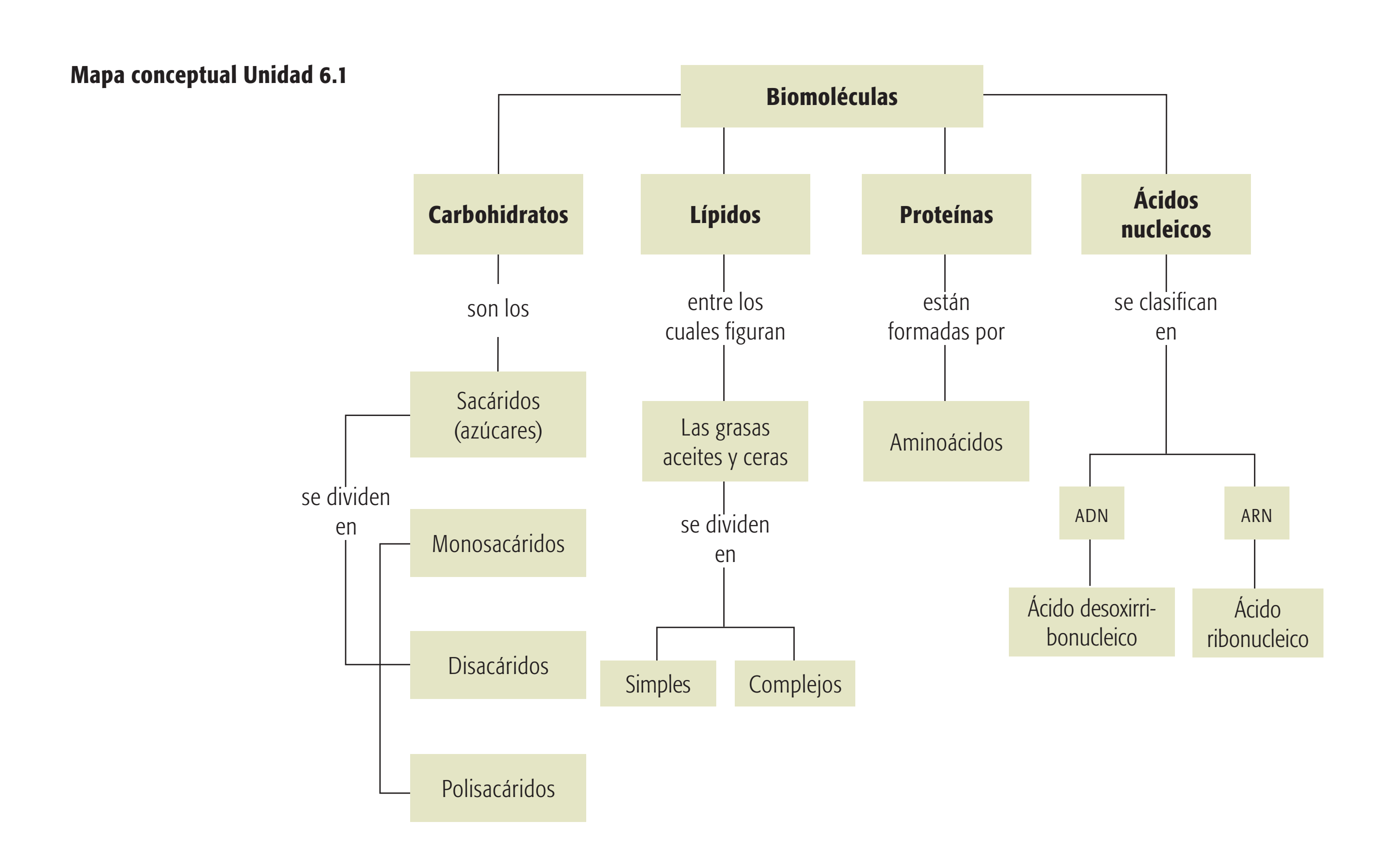
Al concluir esta unidad, el alumno reconocerá la importancia de los carbohidratos, los lípidos, las proteínas y los ácidos nucleicos, mediante el estudio de compuestos representativos.



Hemoglobina

¿Cuánto sabes?

1. De acuerdo con las partes que forman la palabra *biomoléculas*, ¿a qué crees que haga referencia la palabra?
2. ¿Con cuál palabra común relacionas el término *carbohidratos*?
3. Dibuja el grupo funcional aldehído.
4. Esquematiza el grupo funcional cetona.
5. ¿Qué significa el prefijo numérico *di-*?
6. ¿Cuáles son los elementos químicos que forman los aminoácidos?
7. ¿Cuáles son los compuestos que están constituidos por aminoácidos?
8. Escribe el grupo funcional de los aminoácidos.
9. ¿Qué estudia la bioquímica?



Introducción

Las funciones básicas que llevan a cabo las células se basan en reacciones que implican moléculas de gran tamaño. Debido a que son la base de las reacciones que sustentan la vida, a todas estas moléculas se les llama de manera general, **biomoléculas**. Algunos ejemplos de estas biomoléculas son los azúcares, los lípidos, las proteínas y los ácidos nucleicos. Todas estas biomoléculas son de gran tamaño (algunas, incluso, son polímeros, como las proteínas y los ácidos nucleicos) y, a excepción de los azúcares conocidos como monosacáridos y algunos lípidos, todas las biomoléculas pueden descomponerse en moléculas más pequeñas.

Para comprender mejor los temas que verás en esta unidad es importante abundar, de manera elemental, en el concepto de *estereoisomería* o *isomería geométrica*.

Los **estereoisómeros** son compuestos con la misma fórmula desarrollada, pero con diferente disposición en el espacio. Existen dos tipos de estereoisómeros: los isómeros cis-trans, tratados en la unidad 2, y los isómeros ópticos.

Para entender la isomería óptica observa, por ejemplo, la imagen especular (que se refleja en un espejo) de tu cuerpo; si levantas tu brazo derecho, en la imagen parece que es el brazo izquierdo el que llevas hacia arriba, o la de tu mano izquierda, la imagen especular corresponde a la de la derecha.

Tu mano o tu cuerpo no pueden superponerse a sus imágenes especulares, ya que no existe una total coincidencia espacial entre el objeto y su imagen especular; en cambio, una esfera de hierro u otro material homogéneo sí es superponible a su imagen especular.

A los objetos que no pueden superponerse a su imagen especular se les llama **objetos quirales**. En los temas que se tratarán más adelante lo que interesa son las moléculas quirales. Por ejemplo, la imagen especular del cloroetano es superponible (figura 6.1). Mientras que en el 2-clorobutano su imagen especular no es superponible (figura 6.2).

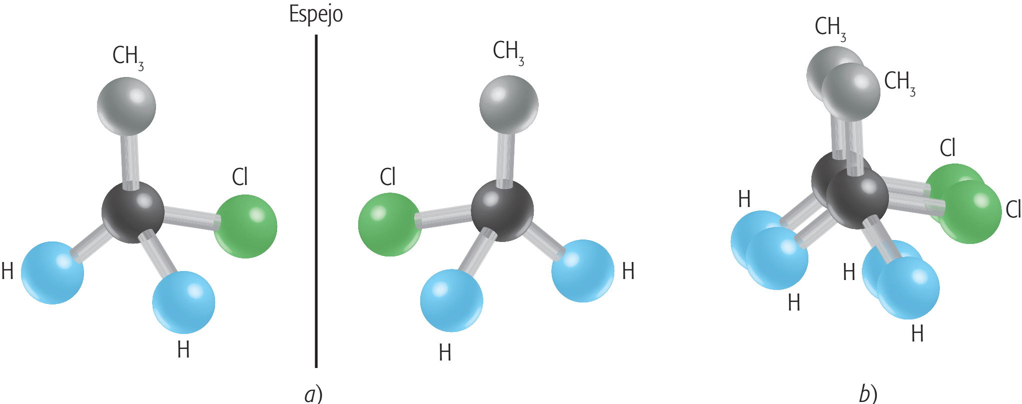


Figura 6.1 *Molécula no quiral* *a*) La imagen del cloroetano en el espejo se puede superponer perfectamente *b*) a la molécula misma.

Si observas la figura 6.1, podrás ver el átomo de carbono que se representa con un círculo central tiene dos sustituyentes iguales y dos diferentes, mientras que en la figura 6.2 el carbono central tiene cuatro sustituyentes diferentes, con lo que se puede concluir que en los compuestos de carbono se tienen átomos de carbono quirales cuando hay cuatro sustituyentes diferentes sobre cada uno de los carbonos.

a) b)

Espejo

CH_3 Cl CH_3CH_2 H | CH_3 Cl CH_3CH_2 H

a)

CH_3 CH_3 Cl Cl H CH_3CH_2 CH_3CH_2 H

b)

Figura 6.2 *Molécula quiral* La imagen especular del 2-clorobutano no se puede superponer a la molécula misma. Se trata, por tanto, de dos moléculas diferentes, o enantiómeros.



Figura 6.3 *Carbohidratos* El pan es una fuente alimenticia de carbohidratos.

6.1 Carbohidratos

Los **carbohidratos**, llamados también **glúcidos** o **sacáridos** (azúcares), constituyen un grupo muy importante de compuestos orgánicos, no sólo desde el punto biológico, sino también industrial (figura 6.3).

Algunos alimentos que contienen carbohidratos son el pan, las pastas, las papas, el arroz, los frijoles, el azúcar de mesa, la lactosa, entre otros.

Constitución de los carbohidratos

Los carbohidratos están formados por átomos de carbono, hidrógeno y oxígeno. Estos dos últimos están presentes, casi siempre, en la relación de dos a uno por cada átomo de carbono ($C_m(H_2O)_n$), por esto se les ha llamado *carbohidratos* o *hidratos de carbono*.

Sus moléculas contienen varios grupos hidroxilo (—OH) y un grupo funcional aldehído $-\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}-H$ o cetona $-\overset{|}{C}=O$. Debido a lo anterior se les clasifica como polihidroxialdehídos y polihidroxicetonas, como lo podrás constatar en los siguientes ejemplos:

¿Sabías que...?

Los químicos de la antigüedad pensaban que los carbohidratos eran cadenas de carbono con agua (hidratos de carbono). Actualmente se sabe que esto no es correcto, pero el nombre persiste.

```
      O
      ‖       ⟵ Grupo aldehído
  H — C
      |
  H — C — OH
      |
 HO — C — H
      |
  H — C — OH  ⎫
      |       ⎪
  H — C — OH  ⎬ Grupos hidroxilo
      |       ⎪
  H — C — OH  ⎭
      |
      H
   Glucosa
```

```
      H
      |
  H — C — OH ⟵ Grupo hidroxilo
      |
      C = O  ⟵ Grupo cetona
      |
 HO — C — H
      |
  H — C — OH  ⎫
      |       ⎪
  H — C — OH  ⎬ Grupos hidroxilo
      |       ⎪
  H — C — OH  ⎭
      |
      H
   Fructosa
```

Los nombres de los carbohidratos generalmente tienen la terminación *-osa*. De acuerdo con el número de átomos de carbono que hay en la molécula de los monosacáridos se clasifican en: *triosas*, con tres átomos de carbono; *tetrosas*, con cuatro; *pentosas*, con cinco, y *hexosas*, con seis.

De acuerdo con el número de moléculas que contienen, los carbohidratos se dividen en *monosacáridos*, *disacáridos* y *polisacáridos*.

Monosacáridos

Los **monosacáridos** son los azúcares más simples. Si contienen el grupo aldehído se les antepone el prefijo *aldo-*, o *ceto-* si contienen el grupo cetona.

Triosas

```
                           H
                           |
    CHO                H—C—OH
     |                     |
 H—C—OH                  C=O
     |                     |
 H—C—OH                H—C—OH
     |                     |
     H                     H
```

Gliceraldehído
(aldotriosa)

Dihidroxiacetona
(cetotriosa)

Tetrosas

```
                           H
                           |
    CHO                H—C—OH
     |                     |
 H—C—OH                  C=O
     |                     |
 H—C—OH                H—C—OH
     |                     |
 H—C—OH                H—C—OH
     |                     |
     H                     H
```

Eritrosa
(aldotetrosa)

Eritrulosa
(cetotetrosa)

Pentosas

```
      CHO
       |
 H — C — OH
       |
 H — C — OH
       |
 H — C — OH
       |
 H — C — OH
       |
       H
```

Ribosa
(aldopentosa)

```
        H
        |
   H—C—OH
        |
       C=O
        |
  HO—C—OH
        |
   H—C—OH
        |
   H—C—OH
        |
        H
```

Ribulosa
(cetopentosa)

Hexosas

```
       CHO
        |
   H—C—OH
        |
  HO—C—H
        |
   H—C—OH
        |
   H—C—OH
        |
   H—C—OH
        |
        H
```

Glucosa
(aldohexosa)

```
        H
        |
   H—C—OH
        |
       C=O
        |
  HO—C—OH
        |
   H—C—OH
        |
   H—C—OH
        |
   H—C—OH
        |
        H
```

Fructosa
(cetohexosa)

Ejercicios

6.1 Escribe sobre las líneas la clasificación de los siguientes monosacáridos, considerando el grupo carbonilo (—C(H)=O aldehído) (R—C(=O)—R, cetona) y el número de átomos de carbono.

$$\begin{array}{rcl} & CH_2OH & \\ & | & \\ & C=O & \\ & | & \\ HO- & C & -H \\ & | & \\ & CH_2OH & \end{array} \qquad \begin{array}{rcl} & CHO & \\ & | & \\ HO- & C & -H \\ & | & \\ HO- & C & -H \\ & | & \\ H- & C & -OH \\ & | & \\ & CH_2OH & \end{array} \qquad \begin{array}{rcl} & CHO & \\ & | & \\ HO- & C & -H \\ & | & \\ HO- & C & -H \\ & | & \\ HO- & C & -H \\ & | & \\ H- & C & -OH \\ & | & \\ & CH_2OH & \end{array} \qquad \begin{array}{rcl} & CH_2OH & \\ & | & \\ & C=O & \\ & | & \\ OH- & C & -H \\ & | & \\ OH- & C & -H \\ & | & \\ H- & C & -OH \\ & | & \\ & CH_2OH & \end{array}$$

____________ ____________ ____________ ____________

____________ ____________ ____________ ____________

Las estructuras anteriores son de cadena abierta. Por conveniencia, en estas proyecciones se escribe el grupo aldehído (—CHO) en la parte superior de la cadena y el grupo (—CH_2—OH) en la parte inferior:

$$\begin{array}{rcl} & CHO & \\ & | & \\ H- & C & -OH \\ & | & \\ HO- & C & -H \\ & | & \\ H- & C & -OH \\ & | & \\ H- & C & -OH \\ & | & \\ & CH_2-OH & \end{array}$$

Una molécula es asimétrica cuando tiene por lo menos un átomo de carbono asimétrico, que es un átomo de carbono con hibridación sp^3 que tiene cuatro diferentes sustituyentes.

Carbonos asimétricos

$$\begin{array}{rcl} & I & \\ & | & \\ F- & C & -H \\ & | & \\ & Cl & \end{array} \qquad \begin{array}{rcl} & CH_3 & \\ & | & \\ H- & C & -OH \\ & | & \\ & CH_2-CH_3 & \end{array}$$

Identifica los carbonos asimétricos o quirales de la glucosa:

1 CHO
H — 2 C — OH
HO — 3 C — H
H — 4 C — OH
H — 5 C — OH
6 CH_2OH

H
1 C = O
H — C — OH
HO — C — H
H — C — OH
H — C — OH
CH_2OH

El carbono 1 está unido a tres grupos diferentes no a cuatro

H
C = O
H — 2 C — OH
HO — C — H
H — C — OH
H — C — OH
CH_2OH

H
C = O
H — C — OH
HO — 3 C — H
H — C — OH
H — C — OH
CH_2OH

H
C = O
H — C — OH
HO — C — H
H — 4 C — OH
H — C — OH
CH_2OH

H
C = O
H — C — OH
HO — C — H
H — C — OH
H — 5 C — OH
CH_2OH

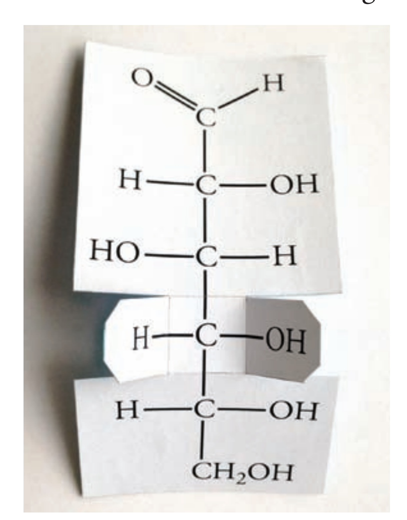
H
C = O
H — C — OH
HO — C — H
H — C — OH
H — C — OH
H — 6 C — OH
H

Los carbonos que están unidos a cuatro grupos diferentes son el 2, 3, 4 y 5. (Éstos son los *carbonos quirales* en la molécula de glucosa.)

Hasta ahora las fórmulas se han presentado de tal manera que dan idea de que son planas, pero no es así. Para representar en dos dimensiones la disposición espacial de moléculas en las que uno o más átomos de carbono están unidos a cuatro sustituyentes diferentes, es decir, que son quirales, se usan las proyecciones de Fischer.

En una proyección de Fischer cada carbono quiral con sus cuatro sustituyentes dispuestos en forma de cruz, se atiende lo siguiente:

- Los sustituyentes que se encuentran a la derecha e izquierda del carbono quiral sobresalen del plano (papel o pantalla) y espacialmente se situarían por delante del plano, hacia el observador.
- Los sustituyentes que se encuentran arriba y abajo del carbono quiral estarían situados, en el espacio, detrás de dicho carbono. Por ejemplo, si se toma el carbono quiral 4 de la glucosa, en su proyección de Fischer la molécula se observaría, aproximadamente, como lo muestra la siguiente imagen:



Ejercicio

6.2 Indica, en cada una de las siguientes moléculas, el número de carbonos quirales. (La cadena de carbonos se enumera de arriba hacia abajo.)

```
      CH2OH
        |
        C = O
        |
 HO  —  C  —  H
        |
  H  —  C  —  OH
        |
  H  —  C  —  OH
        |
      CH2OH
```

```
      CHO
        |
  H  —  C  —  OH
        |
  H  —  C  —  OH
        |
  H  —  C  —  OH
        |
      CH2OH
```

La existencia de carbonos quirales da lugar a la isomería óptica. Imagina que colocas tu mano derecha frente a un espejo, la imagen que observas está invertida y asemeja la mano izquierda.

Estas imágenes especulares, como ocurre con las manos, o mejor dicho la mano derecha e izquierda, son *asimétricas*, es decir, no se pueden sobreponer o poner encima una de otra para que coincidan totalmente.



Observa las siguientes imágenes especulares de moléculas con contrastes quirales.

$$\begin{array}{c} CHO \\ | \\ HO - C - H \\ | \\ CH_2OH \end{array} \qquad\qquad \begin{array}{c} CHO \\ | \\ H - C - OH \\ | \\ CH_2OH \end{array}$$

Gliceraldehído — Imagen de espejo

En la primera estructura el grupo —OH se encuentra en el lado izquierdo del carbono asimétrico (HO—C—), mientras que en la segunda se encuentra a la derecha (—C—OH).

A la molécula de gliceraldehído donde el —OH del último (y, en este caso, del único) carbono quiral apunta a la derecha, se dice que pertenece a la serie "D" de los azúcares, y entonces se le llama D-gliceraldehído (a la izquierda es L-gliceraldehído).

En el gliceraldehído el único carbono quiral es el número 2, así, a

$$\begin{array}{c} CHO \\ | \\ HO - C - H \\ | \\ CH_2OH \end{array}$$

se le denomina L-gliceraldehído (porque el —OH está a la izquierda del carbono quiral), mientras que a

$$\begin{array}{c} CHO \\ | \\ H-C-OH \\ | \\ CH_2-OH \end{array}$$

se le denomina D-gliceraldehído (porque el —OH está a la derecha del carbono quiral).

Cuando en una molécula de carbohidrato existen dos o más carbonos quirales, para asignarlo a la serie D o a la serie L se toma en cuenta únicamente la posición del OH del último carbono quiral (el más alejado del grupo carbonilo).

Ejercicio

6.3 Escribe dentro de los paréntesis la letra D, si se trata de un compuesto perteneciente a la serie D, o la L si es perteneciente a la serie L.

$$\begin{array}{c} CHO \\ | \\ HO-C-H \\ | \\ H-C-OH \\ | \\ CH_2OH \end{array} \qquad \begin{array}{c} CHO \\ | \\ H-C-OH \\ | \\ H-C-OH \\ | \\ OH-C-H \\ | \\ CH_2OH \end{array} \qquad \begin{array}{c} CH_2OH \\ | \\ C=O \\ | \\ HO-C-H \\ | \\ H-C-OH \\ | \\ HO-C-H \\ | \\ CH_2OH \end{array} \qquad \begin{array}{c} CHO \\ | \\ H-C-OH \\ | \\ HO-C-H \\ | \\ H-C-OH \\ | \\ H-C-OH \\ | \\ CH_2OH \end{array}$$

(   ) -Eritrosa   (   ) -Ribosa   (   ) -Fructosa   (   ) -Glucosa

Los azúcares forman ciclos para ganar estabilidad, eso ocurre cuando reacciona el grupo carbonilo con un —OH de los últimos carbonos quirales (el último o el penúltimo). Cuando esto sucede, se dibujan de una manera específica que permite un análisis visual rápido: con las llamadas proyecciones de Haworth.

Antes de continuar con la explicación acerca de la fórmula cíclica de la glucosa, es conveniente hablar de los acetales y hemiacetales.

Si una molécula de aldehído reacciona con dos moléculas de alcohol se forma un acetal:

$$\begin{array}{c} R-\underset{\underset{H}{|}}{C}=O + 2R-OH \longrightarrow R-\overset{\overset{OR}{|}}{\underset{\underset{H}{|}}{C}}-OR + H_2O \end{array}$$

Acetal

Observa que el carbono del acetal tiene dos grupos —OR.

Mientras que si una molécula de aldehído reacciona con una molécula de alcohol se forma un hemiacetal:

$$R-\underset{\displaystyle H}{\underset{|}{C}}=O + R-OH \rightarrow R-\overset{\displaystyle OR}{\overset{|}{\underset{\displaystyle H}{\underset{|}{C}}}}-OH$$

Hemiacetal

En esta molécula el carbono del hemiacetal tiene un grupo —OH y un grupo —OR.

A continuación observa cómo se dibuja la estructura cíclica de la D-glucosa. En primer lugar, se enumeran los carbonos de la parte superior a la inferior de la cadena.

$$\begin{array}{rcl} & H & \\ & | & \\ & {}^{1}C & = O \\ & | & \\ H - & {}^{2}C & - OH \\ & | & \\ HO - & {}^{3}C & - H \\ & | & \\ H - & {}^{4}C & - OH \\ & | & \\ H - & {}^{5}C & - OH \\ & | & \\ & {}^{6}CH_2OH & \end{array}$$

Después, la cadena se dobla de tal manera que el carbono quiral (5) quede frente al grupo aldehído (carbono 1). (El grupo $-CH_2OH$ queda encima del carbono 5.)

6 CH_2OH
5 C — OH
H
4 C H
OH
H
1 C = O
OH
3 C — 2 C
H
H
OH

Por último, se forma el enlace hemiacetálico:

Enlace hemiacetálico

A su vez, el carbono 1, que no era quiral, pues formaba parte de un aldehído, adquiere quiralidad cuando se forma el ciclo (cuatro sustituyentes diferentes). Debido a esto, el —OH al que se encuentra unido puede acomodarse en dos posiciones diferentes. Si el —OH se ubica abajo del plano del anillo, el isómero cíclico de la D-glucosa es α (alfa); si se pone arriba, el isómero es β (beta).

α-D-Glucosa

β-D-Glucosa

La pequeña diferencia entre las formas α y β de la glucosa resulta de gran importancia biológica y explica, como verás más adelante, la diferencia entre el almidón y la celulosa.

Los monosacáridos naturales más importantes son las hexosas: *glucosa*, *galactosa* y *fructosa*.

Glucosa La hexosa más abundante e importante es la D-hexosa, llamada también *dextrosa*, *azúcar de uva*, *azúcar de la sangre* o simplemente *glucosa*. Su fórmula molecular es ($C_6H_{12}O_6$).

La glucosa es el monómero de los polisacáridos como la **sacarosa**, el **almidón** y la **celulosa**. La concentración normal de la glucosa en la sangre en el organismo es de 70 a 90 mg por 100 mL. Al oxidarse, produce dióxido de carbono y agua, de esta manera libera energía indispensable para la vida. El exceso de glucosa se elimina mediante la orina, y parte de ella se almacena como glucógeno en los músculos y en el hígado (figura 6.4).



Figura 6.4 *Glucosa* Se encuentra en las frutas dulces –principalmente en la uva–, en la miel, el jarabe de maíz y en las verduras.

Galactosa La D-galactosa, de fórmula molecular $C_6H_{12}O_6$, no se encuentra libre en la naturaleza, sino que forma parte de la lactosa o azúcar de leche. Su fórmula de cadena abierta es la que se presenta a continuación:

```
       CHO
        |
  H  —  C  —  OH
        |
  HO —  C  —  H
        |
  HO —  C  —  H
        |
  H  —  C  —  OH
        |
       CH2OH
```

y sus estructuras cíclicas:

```
        CH2OH                          CH2OH
          |                              |
          C ———————— O                   C ———————— O
   OH   /  |          \  H        OH   /  |          \  OH
    |  /   H           \ |         |  /   H           \ |
    C                    C         C                    C
    |  \               / |         |  \               / |
    H   \ OH        H /  OH        H   \ OH        H /  H
          |         |                    |         |
          C ——————— C                    C ——————— C
          |         |                    |         |
          H         OH                   H         OH

     α-D-Galactosa                  β-D-Galactosa
```

Fructosa La D-fructosa, también llamada *azúcar de frutas*, *levulosa* o simplemente *fructosa*, de fórmula molecular $C_6H_{12}O_6$, es el carbohidrato más dulce, el doble que

la sacarosa (azúcar de mesa). Se encuentra en la miel y en los jugos de frutas (figura 6.5). Cuando se ingiere se transforma en la sangre en glucosa. Sus estructuras cíclicas son:

α-D-fructosa

β-D-fructosa



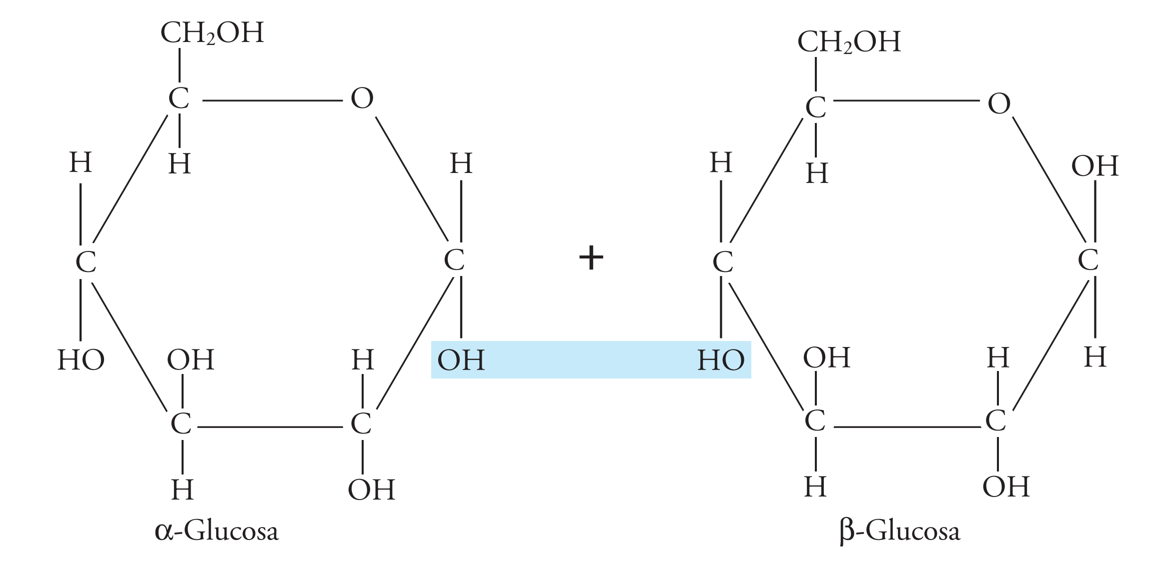
Figura 6.5 *Fructosa* Se encuentra en forma libre en las frutas y en la miel. Algunas frutas contienen también glucosa, la cual combinada con la fructosa forman un disacárido llamado sacarosa o azúcar de mesa.

Disacáridos

Un **disacárido** es un carbohidrato que resulta de la unión de dos monosacáridos. Los más importantes son la *maltosa*, la *lactosa* y la *sacarosa*. Al hidrolizarse (reaccionar con H_2O), estos compuestos se descomponen en dos unidades de monosacáridos.

- La maltosa se descompone en dos unidades de D-glucosa.
- La lactosa en D-glucosa y D-galactosa.
- La sacarosa en D-glucosa y D-fructosa.

Maltosa La maltosa, de fórmula molecular $C_{12}H_{22}O_{11}$, no se encuentra libre en la naturaleza, sino que se obtiene a partir de la hidrólisis del almidón; también recibe el nombre de *azúcar de malta*. La maltosa tiene un enlace α-l,4-glucosídico, como se observa en la reacción, el grupo —OH del carbono 1 de la α-glucosa reacciona con el grupo —OH del carbono 4 de la β-glucosa, para formar el enlace α-l,4-glucosídico, mientras que prevalece intacto el carbono 1 de la β-glucosa, por esto el compuesto se llama β-*maltosa*.



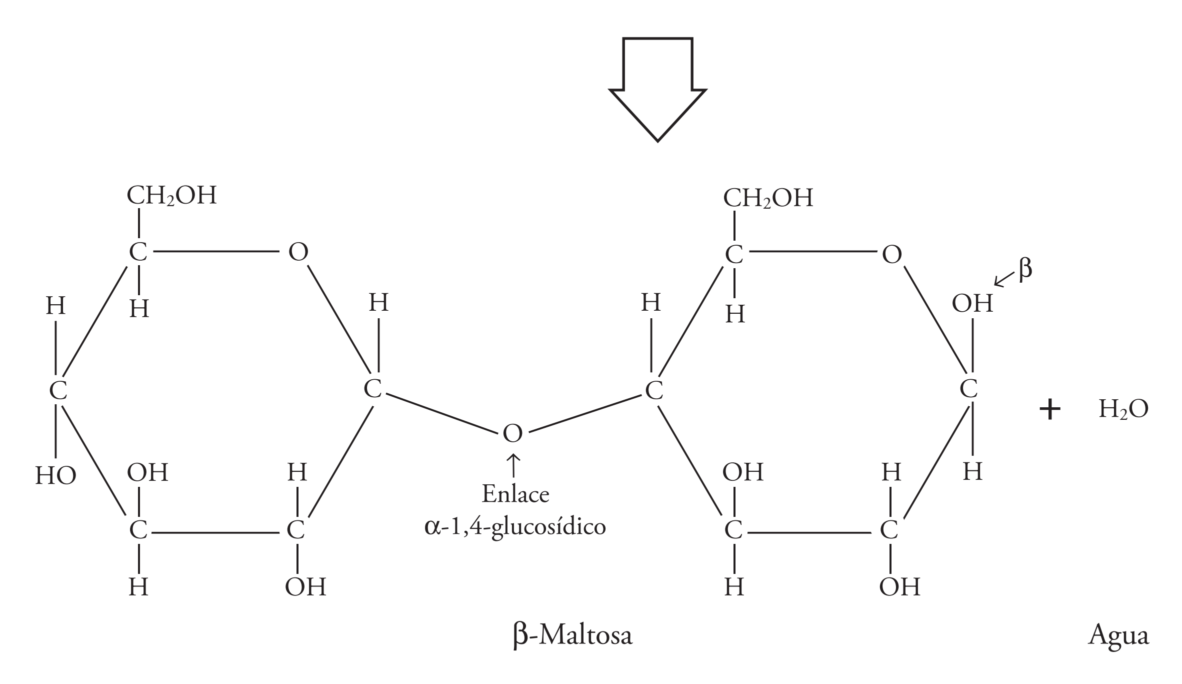




Figura 6.6 *Lactosa* Es el azúcar que se encuentra en la leche de las hembras de los mamíferos.

Lactosa La D-lactosa está contenida en la leche de todos los mamíferos, debido a esto, también se le conoce con el nombre de *azúcar de leche* o simplemente *lactosa*. La leche humana contiene entre 6 a 8% de lactosa y la de vaca entre 4 a 5% (figura 6.6). Al reaccionar con microorganismos, la lactosa forma la *leche agria*, que es el **ácido láctico**.

La lactosa se encuentra en estado libre en la naturaleza. Su fórmula molecular es $C_{12}H_{22}O_{11}$. La lactosa tiene un enlace β-l,4-glucosídico:

β-D-Galactosa + α-D-Glucosa

Enlace β-1,4-glucosídico

α-Lactosa + H_2O Agua

Sacarosa La D-sacarosa es el disacárido de mayor importancia mundial. Se le conoce comúnmente como azúcar de mesa o simplemente azúcar, y se obtiene de la caña de azúcar y de la remolacha. Su fórmula molecular es $C_{12}H_{22}O_{11}$. La sacarosa es seis veces más dulce que la lactosa y la mitad de dulce que la fructosa (figura 6.7). En la sacarosa existe un enlace α-1,2-glucosídico:

α-D-Glucosa + β-D-Fructosa

Enlace α-1,2-glucosídico

Sacarosa + H_2O Agua



Figura 6.7 *Sacarosa* Es el azúcar de mesa, y se encuentra en la caña de azúcar y en la remolacha. Es más dulce que la lactosa. Su consumo en grandes cantidades puede ser dañino para el organismo.

Polisacáridos

Los **polisacáridos** son polímeros de cadena larga cuyo monómero es un monosacárido. Los más importantes son el almidón, el glucógeno y la celulosa (figura 6.8). En los tres el monómero es la D-glucosa. Sus diferentes propiedades se explican por el tipo de enlace glucosídico y las ramificaciones de la molécula.

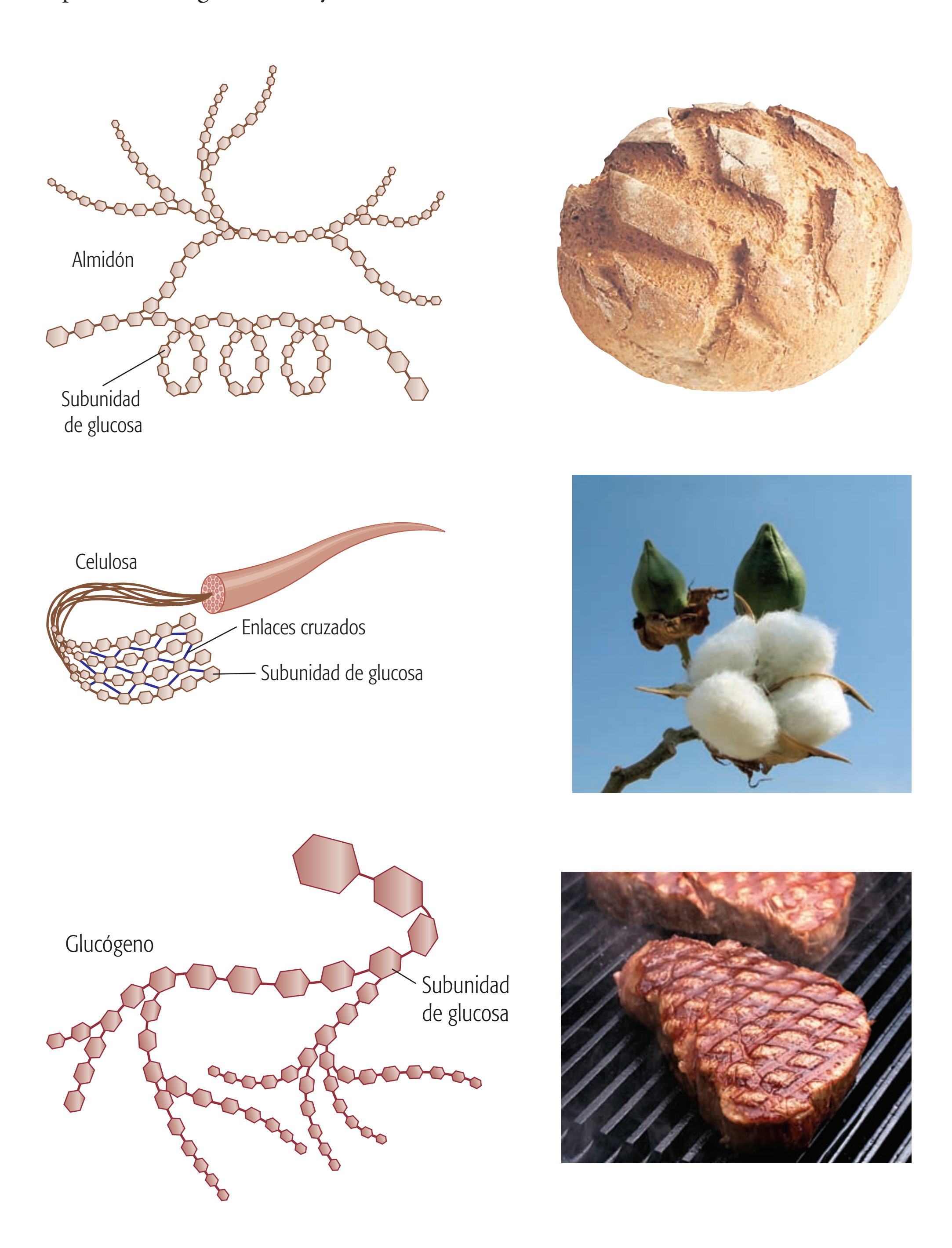


Figura 6.8 *Almidón, celulosa y glucógeno* El almidón del pan, la celulosa del algodón y el glucógeno de la carne son polímeros de glucosa. Las subunidades de glucosa están entrelazadas en la celulosa y forman algo parecido a un alambrado. Las moléculas de almidón pueden estar o no ramificadas, y el glucógeno tiene muchas ramificaciones.

Almidón El almidón es el producto de reserva de glucosa en los vegetales; se encuentra en el arroz (75%), trigo (50%), papas (20%), maíz, avena, etcétera.

En una dieta sana, la mayor parte de la energía se consigue a partir de las unidades de glucosa en que se hidroliza el almidón. Las moléculas de glucosa están unidas mediante enlaces α-1,4-glucosídicos.

Estructura del almidón

Glucógeno El glucógeno es muy parecido al almidón. Constituye la reserva de energía en el organismo, se concentra en el hígado, y en los músculos es una fuente inmediata de energía.

Celulosa La celulosa es el tejido de sostén de los vegetales. El algodón es casi 100% celulosa, la madera contiene entre 45 a 50% de celulosa. Sus moléculas están constituidas por D-glucosa, similar al almidón, con la diferencia de que estas moléculas están unidas mediante enlaces β-1,4-glucosídicos.

Estructura de la celulosa

A diferencia del almidón y el glucógeno, la celulosa no se hidroliza, es por esto que no puede ser digerida por los animales ni por los humanos, sólo la digieren los animales herbívoros, ya que en sus aparatos digestivos contienen enzimas que pueden hidrolizar la celulosa para obtener glucosa.

Los disacáridos y polisacáridos, al igual que todos los alimentos, deben hidrolizarse para convertirse en unidades que puedan ser asimiladas por el organismo, es por eso

que hidrolizar significa, en este caso, digerir. En este proceso juegan un papel muy importante las enzimas que actúan como catalizadores (recuerda que un catalizador es una sustancia que permite que una reacción ocurra, pero no sufre alteración alguna).

Aunque el hombre no digiere la celulosa, sí debe ingerirla (es la fibra en los alimentos dietéticos), ya que en el intestino aumenta la absorción del agua haciendo las heces más blandas; alivia algunos tipos de diverticulitis, y es de gran ayuda para controlar el peso y absorber carbohidratos y parte del colesterol de los alimentos (figura 6.9).

Investiga

Dos alimentos dietéticos que contengan fibra.



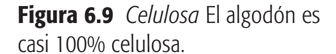


Figura 6.9 *Celulosa* El algodón es casi 100% celulosa.

Usos de los carbohidratos

La fuente principal de energía que tiene el cuerpo humano es la que se obtiene durante el proceso de descomposición de los carbohidratos en dióxido de carbono y agua. Por esto, los carbohidratos constituyen una parte vital de la dieta. A continuación encontrarás usos comunes de algunos carbohidratos.

- La **glucosa** se emplea en la elaboración de dulces, mermeladas, jaleas, helados, refrescos y jarabe de mesa.



- La **sacarosa** se utiliza en la elaboración de alimentos, refrescos embotellados, caramelos, licores, pasteles, etcétera.



- El **almidón** se emplea como adhesivo, formador de películas, estabilizador de espumas, conservador para el pan. Se usa como engrudo para almidonar algunas prendas de vestir y éstas queden más firmes al momento del planchado. El almidón también es utilizado en la industria alimentaria como uno de los muchos aditivos para algunos alimentos, por ejemplo, se emplea en la fabricación de embutidos y fiambres de baja calidad para dar consistencia al producto.



Un uso interesante del almidón es la preparación de embalajes de espuma, una alternativa biodegradable a los envases de poliestireno.

- La **celulosa** sirve para la fabricación de papel, explosivos, seda artificial, barnices, lacas, resinas sintéticas, etcétera.



La palabra y su raíz

hiperglucemia (griego) *hyper* demasiado, *glyc* –emia, de la sangre

Lectura

Diabetes mellitus, la muerte dulce

La diabetes mellitus es la alteración del equilibrio de las hormonas y algunos otros factores que regulan el metabolismo de los carbohidratos que consumes. En México, esta enfermedad es uno de los principales problemas de salud pública.

Su causa, en general, se debe a una lesión en el páncreas que provoca disminución de la secreción de insulina. Como consecuencia, hay hiperglucemia (cantidad excesiva de glucosa en la sangre) y glucosuria (presencia de glucosa en la orina a niveles elevados), además de la pérdida de glucosa por los riñones, que lleva consigo una mayor eliminación de agua para mantenerla en disolución.

Todo ello explica el aumento de la cantidad de orina (poliuria), la sed, la pérdida de peso y el hambre, síntomas característicos de la diabetes. En la medida que disminuye la capacidad de utilización de glucosa se forma más cantidad de ésta a expensas de las proteínas y las grasas, aumentando así el desgaste del organismo.

Uno de los factores que coadyuvan al aumento de la diabetes mellitus en la población es la falta de una alimentación adecuada, libre de carbohidratos y grasas. Si esta enfermedad no es tratada, la persona que la padece puede llegar a morir.

Tomado de María de Lourdes García Becerril, *Química II*, McGraw-Hill Interamericana Editores, México, 2007, p. 194.

6.2 Lípidos

Los **lípidos** son los constituyentes de los tejidos animales. Son insolubles en agua, pero solubles en éter y en otras sustancias orgánicas. Las grasas, aceites y ceras forman parte de los lípidos, y sirven para almacenar energía en los organismos vegetales y animales (figuras 6.10 y 6.11).



Figura 6.10 *Los lípidos en los cosméticos* Un lápiz labial es una mezcla formada principalmente por aceites y ceras. Estos lípidos disuelven los colorantes y hacen que el lápiz se deslice sobre los labios. También mantienen suave y húmeda la piel de los labios.



Figura 6.11 *El aguacate, fruto con muchos aceites* Sus propiedades son de provecho para la salud, ya que contienen los ácidos grasos esenciales y proteínas de alta calidad que se digieren fácilmente.

Las grasas y aceites son mezclas de ésteres ($-\overset{\displaystyle O}{\overset{\|}{C}}-O-$) que resultan de la combinación de ácidos grasas de peso molecular elevado (con 12 a 26 átomos de carbono) con la glicerina (glicerol).

$$\begin{array}{l} CH_2 - OH \\ | \\ CH - OH \quad \text{Glicerina} \\ | \\ CH_2 - OH \end{array}$$

Es por esto que reciben el nombre de *glicéridos* (ésteres de glicerina).

Debido a que los ácidos carboxílicos (grasas) pueden ser saturados o insaturados (no saturados), los glicéridos pueden ser saturados o insaturados. Los monoinsaturados tienen un enlace doble, y los poliinsaturados tienen dos o más enlaces dobles.

Por lo general, los lípidos animales son saturados, mientras que los lípidos vegetales son insaturados (ver figura 4.4).

¿Sabías que...?

El término *lípido* proviene de la palabra griega *lipos*, que significa "grasa".

Lectura Grasas falsas

Las grasas desempeñan un papel importante en los alimentos, pues les dan un buen sabor, además de textura lisa, brillo y color, incluso hacen que sean suaves, que se despedacen o que sean cremosos. También ayudan al cuerpo a absorber las vitaminas liposolubles y dan sensación de plenitud.

A pesar de sus buenas cualidades, las grasas pueden ser muy malas para el organismo. Han sido consideradas como factores que provocan cáncer, enfermedades cardiacas y otras afecciones. Como resultado, se aconseja a la población reducir el contenido de grasas en su dieta cotidiana.

¿Es posible diseñar "grasas falsas", es decir, un material con el sabor y el comportamiento de la grasa pero que no sea nocivo? De hecho, casi todas las empresas de la industria alimentaria intentan alcanzar esta meta. Basta caminar por el supermercado y observar que muchos productos cuentan con una alternativa de bajo contenido o libre de grasas.

Hay tres tipos de sustitutos de la grasa: a base de carbohidratos, a base de proteínas y a base de grasa. Los sustitutos de grasa basados en carbohidratos aparecieron por primera vez en el mercado en la década de los sesenta, y los sustitutos derivados de proteínas, en la década de los ochenta. Los almidones, las gomas y las proteínas modificados, cortados en diminutos pedazos de 100 a 3 000 nm, constituyen la mayor parte de los sustitutos de grasa que hay en el mercado. Por ejemplo, NutraSweet manufactura Simplesse, un concentrado de proteína de suero que se encuentra con mayor frecuencia en alimentos lácteos y con base aceitosa, como los helados y los aderezos para ensalada.

Aunque los sustitutos de la grasa es muy común usarlos en nuestros días, aún es necesario perfeccionarlos. Uno de los principales problemas con los sustitutos de grasa basados en carbohidratos y proteínas es que se descomponen a altas temperaturas y, por tanto, no sirven para freír alimentos. Otro problema con estos productos es que a menudo alteran el sabor de los alimentos. Asimismo, la mayoría de los productos aromáticos que proporcionan sabor son liposolubles, de modo que en los alimentos preparados con grasa real perdura más el sabor. No obstante, los sustitutos de grasa recién desarrollados al parecer han logrado contrarrestar algunas de estas desventajas.

Por ejemplo, Olestra es un "poliéster de sacarosa" manufacturado por Procter & Gamble. Es una sustancia a base de grasas, pero mientras que las grasas naturales tienen tres ácidos grasas unidos al glicerol, Olestra tiene de seis a ocho ácidos grasos (todos ellos derivados de aceites vegetales) unidos a una molécula de sacarosa. Como no se adapta a los sitios de las enzimas del organismo que descomponen las grasas, el poliéster de sacarosa pasa por el cuerpo sin ser digerido. Por lo tanto, es una grasa no nutritiva y no produce energía. Además, como es estable a alta temperatura, Olestra, que se comercializa con el nombre de Olean por Procter & Gamble, puede emplearse para freír los alimentos. Aunque Olestra recibió autorización de la Administración de Alimentos y Fármacos (FDA) de Estados Unidos para ser empleado en bocadillos desde 1996, todavía existe controversia acerca de sus efectos secundarios. Como Olestra no se digiere, consumir este producto en grandes cantidades puede provocar incomodidad intestinal. Sin embargo, la reacción del mercado a estos productos ha sido bastante positiva. Mientras tanto, aún continúa la búsqueda de un sustituto perfecto de la grasa.

Adaptado de Steven S. Zumdahl, *Fundamentos de química*, 5a. ed., McGraw-Hill Interamericana Editores, México, 2007, p. 641.

División de los lípidos por su origen

Los lípidos provienen de animales y vegetales. De origen animal son la manteca de cerdo, el aceite de ballena, la cera de abeja, la mantequilla, la grasa del cuerpo humano, el colesterol, etcétera.

El colesterol es un lípido que no es grasa ni aceite. Es uno de los integrantes de las membranas de los glóbulos rojos y de células nerviosas, aunque es un componente normal en nuestro organismo, precipita en la vesícula biliar formando cristales llamados cálculos biliares. Produce arterioesclerosis cuando precipita en las paredes de venas y arterias ocasionando su engrosamiento y endurecimiento; esto contribuye al aumento de la presión sanguínea y enfermedades cardiacas (figura 6.12).

$$\begin{array}{c} CH_3 \qquad\qquad\qquad\qquad\qquad H \\ H-C-CH_2-CH_2-CH_2-C-CH_3 \\ H_3C \qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad CH_3 \\ H_3C \\ HO \end{array}$$

Colesterol

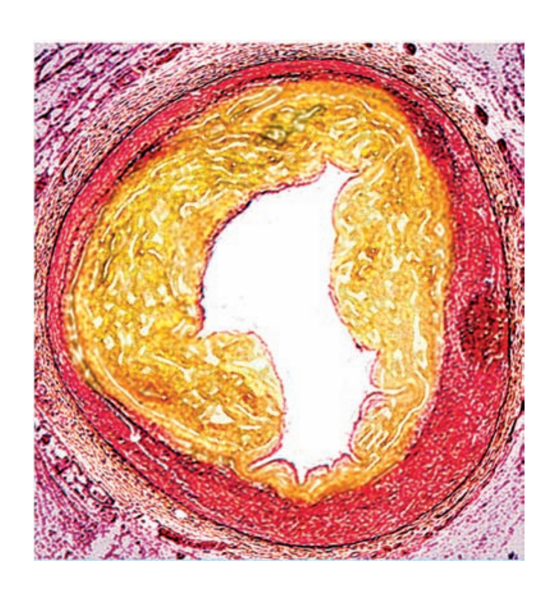


Figura 6.12 *Arterioesclerosis* El colesterol forma parte del material de las placas que ocluyen esta arteria humana.

Se les llama *triglicéridos* cuando la molécula de glicerol se combina con tres moléculas de ácido. Son simples cuando las moléculas de ácido son iguales.

$$\begin{array}{l} CH_2 - OH + HO - OC - (CH_2)_{16} - CH_3 \\ | \\ CH - OH + HO - OC - (CH_2)_{16} - CH_3 \\ | \\ CH_2 - OH + HO - OC - (CH_2)_{16} - CH_3 \end{array}$$

Glicerol + 3 moléculas del mismo ácido

$$\downarrow$$

$$\begin{array}{l} CH_2 - O - OC - (CH_2)_{16} - CH_3 \\ | \\ CH - O - OC - (CH_2)_{16} - CH_3 + 3H_2O \\ | \\ CH_2 - O - OC - (CH_2)_{16} - CH_3 \end{array}$$

Triglicérido simple + 3 moléculas de agua

Los triglicéridos son mixtos cuando contienen dos o tres ácidos grasos diferentes.

$$\begin{array}{l} CH_2 - O - OC - (CH_2)_{10} - CH_3 \\ | \\ CH - O - OC - (CH_2)_{12} - CH_3 \\ | \\ CH_2 - O - OC - (CH_2)_{14} - CH_3 \end{array}$$

Triglicérido mixto

Lípidos simples y complejos

Los *lípidos simples* son los glicéridos, céridos, entre otros.

Glicéridos Los glicéridos son ésteres de la glicerina y ácidos grasos. Los glicéridos mixtos forman parte de las grasas naturales. Las grasas de origen animal forman el tejido adiposo. En los vegetales, los glicéridos se encuentran principalmente en las frutas y semillas.

Los ácidos que más abundan en los glicéridos son el palmítico [$CH_3—(CH_2)_{14}—COOH$], el laúrico [$CH_3—(CH_2)_{10}—COOH$], el mirístico [$CH_3—(CH_2)_{12}—COOH$] y el esteárico [$CH_3—(CH_2)_{16}—COOH$].

La diferencia entre las grasas y los aceites es que las primeras son sólidas a temperatura ambiente, mientras que los aceites son líquidos.

Céridos Los céridos, comúnmente llamados ceras, están formados por la unión de ácidos cuyo peso molecular es superior a los que forman las grasas. Sus moléculas contienen entre 24 y 36 átomos de carbono, con alcoholes monohidroxílicos (en lugar de glicerina) que contiene entre 16 y 36 átomos de carbono.

Formación de un cérido

$$\underset{\text{Ácido palmítico}}{CH_3—(CH_2)_{14}—COOH} + \underset{\text{Alcohol miricílico}}{OH—C_{30}H_{61}} \longrightarrow \underset{\substack{\text{Palmitato de miricilo} \\ \text{(Cérido)}}}{CH_3—(CH_2)_{14}—CO—O—C_{30}H_{61}} + \underset{\text{Agua}}{H_2O}$$

El palmitato de miricílico se encuentra en proporción elevada en la cera de abejas.

Algunos céridos comunes son de origen animal como: la *cera de abeja,* la *cera de ballena* (incorrectamente llamada “esperma de ballena”), la cual se encuentra en la cavidad craneana del cachalote, y la *lanolina*, que se extrae de la lana de los carneros. Estas tres ceras mencionadas se emplean para elaborar materiales pulidores y productos farmacéuticos, así como para ungüentos y pomadas.

En tanto, las ceras de origen vegetal se encuentran en la cera de carnauba, la cera de China y la cera de candelilla.

Los *lípidos complejos* son los fosfolípidos, fosfoaminolípidos y cerebrósidos.

Fosfolípidos Los fosfolípidos son sustancias cuyas moléculas tienen un grupo fosfato y dos ácidos grasos unidos a los carbonos del glicerol (glicerina). Los fosfolípidos forman las membranas celulares.

$$\begin{array}{ll} CH_2O - CO - R & \longleftarrow \text{ácido graso} \\ | & \\ CHO - CO - R & \longleftarrow \text{ácido graso} \\ | & \\ CH_2O - PO_3^- - R & \end{array}$$

Fosfolípido

¿Sabías que...?

Muchos aceites vegetales se anuncian como libres de colesterol. Esto está por demás, ya que el colesterol sólo se encuentra en los tejidos animales, los productos derivados de las plantas carecen de colesterol.

Fosfoaminolípidos Están formados por glicerina, ácidos grasos, ácido fosfórico y colina.

CH_2OH

O

OH H

OH H

H OH H

H OH

O

OH

H

H_2C — C — CH

NH CH

O = C HC

R $(CH_2)_{12}$

CH_3

Ejemplos de fosfoaminolípidos son las *lecitinas*, que se extraen de la yema del huevo o del aceite de soya.

Cerebrósidos Abundan en el cerebro y en los tejidos nerviosos. Son ésteres del alcohol aminado de esfingosina, en lugar de glicerol y un monosacárido.



Hidrólisis

Es una reacción de adición en la cual los triglicéridos se descomponen en glicerina y ácidos grasos por la acción del agua (se hidrolizan) en presencia de catalizadores como ácidos fuertes o enzimas. Por ejemplo:

$$\begin{array}{l} CH_2 - O\,OC - (CH_2)_{14} - CH_3 \\ | \\ CH - O\,OC - (CH_2)_{14} - CH_3 + 3\,H_2O \longrightarrow \\ | \\ CH - O\,OC - (CH_2)_{14} - CH_3 \end{array} \quad \begin{array}{l} CH_2 - OH \\ | \\ CH - OH + 3HO\,OC - (CH_2)_{14} - CH_3 \\ | \\ CH_2 - OH \end{array}$$

Tripalmitato de glicerilo Tripalmitina + 3 moléculas de agua → Glicerina + 3 moléculas de ácido palmítico

Saponificación

La reacción mediante la cual se obtiene jabón a partir de grasas y aceites se llama *saponificación*. Ésta consiste en calentar una grasa con una base fuerte (hidróxido de sodio o potasio) para obtener, como productos, glicerol y una sal de sodio o potasio de los ácidos grasos que recibe el nombre de jabón (figura 6.13).

$$\begin{array}{l} CH_2 - O\,OC - (CH_2)_{16} \quad NaO\,H \\ | \\ CH_2 - O\,OC - (CH_2)_{16} + \quad NaO\,H \longrightarrow \\ | \\ CH_2 - O\,OC - (CH_2)_{16} \quad NaO\,H \end{array} \quad \begin{array}{l} CH_2 - OH \\ | \\ CH - OH \ + 3Na^{+}O - OC - (CH_2)_{16} - CH_3 \\ | \\ CH_2 - OH \end{array}$$

Triestearato de glicerilo Triestearina + 3 moléculas de hidróxido de sodio → Glicerina + 3 moléculas de estearato de sodio (jabón)



Figura 6.13 *Saponificación* De la reacción de este proceso se producen el jabón y la glicerina. En la imagen, jabones de glicerina.

6.3 Proteínas

Desde el punto de vista de la bioquímica, las proteínas son los compuestos más importantes, pues son el componente principal de las células.

Los vegetales pueden formar proteínas a partir de sustancias inorgánicas como nitratos solubles, dióxido de carbono y agua.

Componentes de las proteínas

Los elementos que forman las proteínas son carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno (C, H, O, N) y en algunas intervienen el azufre y el fósforo. Como ejemplos de proteínas se tiene la albúmina del huevo, la caseína de la leche, la glutelina del trigo, la gelatina de los huesos, la insulina del páncreas y la hemoglobina de la sangre.



La caseína de la leche



La albúmina del huevo



La glutelina del trigo

Figura 6.14 *Ejemplos de proteínas*

Ya se ha mencionado que las proteínas están formadas por aminoácidos (ver unidad 5, Componentes de las proteínas). Las proteínas de los seres humanos están formadas por veinte aminoácidos (ver cuadro 6.1), diez de los cuales no se pueden sinterizar a partir de los carbohidratos. Estos diez aminoácidos reciben el nombre de *aminoácidos esenciales,* y se obtienen de fuentes externas.

Cuadro 6.1 Aminoácidos.

Nombre IUPAC	Fórmula	Nombre común	Abreviatura
Ácido aminoacético	CH_2-COOH NH_2	Glicina	Gli
Ácido α-aminopropiónico	$CH_3-CH-COOH$ NH_2	Alanina	Ala
Ácido α-amino-β-metilbutanoico (ácido aminoisovaleriánico)	$CH_3-CH-CH-COOH$ CH_3 NH_2	Valina	Val
Ácido α-amino-γ-metilpentanoico (ácido α-aminocaprónico)	$CH_3-CH-CH_2-CH-COOH$ CH_3 NH_2	Leucina	Leu
Ácido α-amino-β-metilpentanoico (ácido α-amino-β-metilvalérico)	$CH_3-CH_2-CH-CH-COOH$ CH_3 NH_2	Isoleucina	Ile
Ácido α-amino-β-indolpropanoico	(indol, N–H)$-CH_2-CH-CO\ OH$ NH_2	Triptófano	Trp
Ácido α-ε-diaminohexanoico (ácido α-ε-diaminocaproico)	$CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH-COOH$ NH_2 NH_2	Lisina	Lys
Ácido di(δ-amino-δ-guadinovalérico)	$H_2N-C-CH_2-CH_2-CH_2-CH-COOH$ $\|\| NH$ NH_2	Arginina	Arg
Ácido α-amino-β-fenilpropiónico	(fenil)$-CH_2-CH-COOH$ NH_2	Fenilalanina	Fen
Ácido α-amino-β-imidasolilpropiónico	$HC=C-CH_2-CH-COOH$ N NH NH_2 C H	Histidina	His
Amida del ácido aspártico	$H_2NOC-CH_2-CH-COOH$ NH_2	Asparagina	Asn
Amida del ácido glutárico	$H_2NOC-CH_2-CH_2-CH-COOH$ NH_2	Glutamina	Gln
Ácido α-aminoiso-β-hidroxipropiónico	$CH_2-CH-COOH$ OH NH_2	Serina	Ser
Ácido α-amino-β-hidrobutírico	$CH_3-CH-CH-COOH$ OH NH_2	Treonina	Tre

Nombre IUPAC	Fórmula	Nombre común	Abreviatura
Ácido α-aminosuccínico	$HOOC-CH_2-CH(NH_2)-COOH$	Ácido aspártico	Asp
Ácido α-aminoglutárico	$HOOC-CH_2-CH_2-CH(NH_2)-COOH$	Ácido glutámico	Glu
Ácido α-amino-β-parahidroxifenilpropiónico	$HO-C_6H_4-CH_2-CH(NH_2)-COOH$	Tirosina	Tir
Ácido α-amino-γ-metiltiobutírico	$CH_3-S-CH_2-CH_2-CH(NH_2)-COOH$	Metionina	Met
Ácido α-amino-β-tiolpropiónico	$SH-CH_2-CH(NH_2)-COOH$	Cisteína	Cis
Ácido pirrolidin-2-carboxílico	$H_2C=CH_2$, C, $CH-COOH$, N, H (anillo)	Prolina	Pro

Aminoácidos esenciales

- Arginina
- Histidina
- Isoleucina
- Leucina
- Licina
- Metionina
- Fenilalanina
- Treonina
- Triptófano
- Valina

Los aminoácidos esenciales son aportados principalmente por las proteínas animales contenidas en la carne, el huevo y la leche. Estos alimentos, como ya se ha mencionado, contienen grasas saturadas y colesterol, por lo que deben incluirse en la dieta combinados con alimentos de origen vegetal.

Estructura de las proteínas

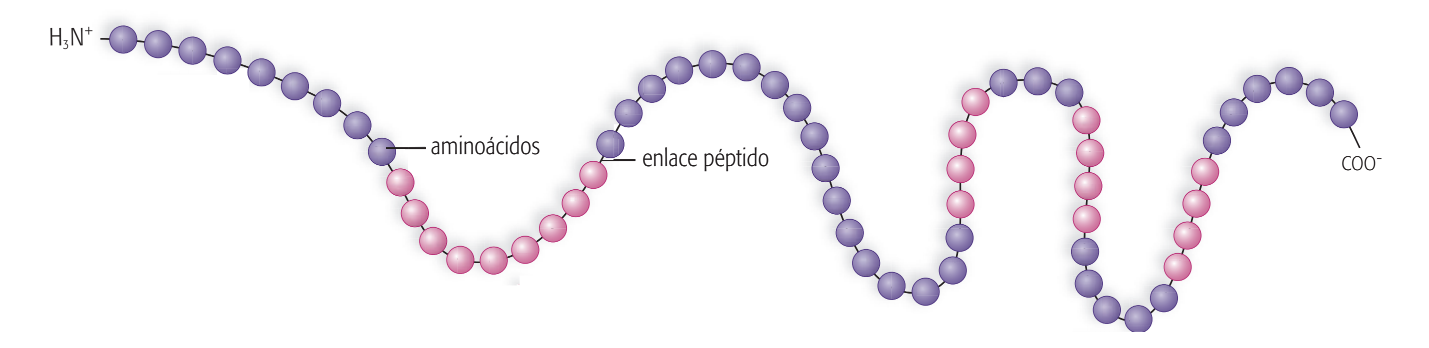
La estructura de las proteínas es muy compleja y depende de la disposición tridimensional de los aminoácidos que las forman. Dicha estructura depende de la función que van a desempeñar en el organismo.

Esta estructura se analiza en cuatro niveles diferentes:

- Estructura primaria
- Estructura secundaria
- Estructura terciaria
- Estructura cuaternaria

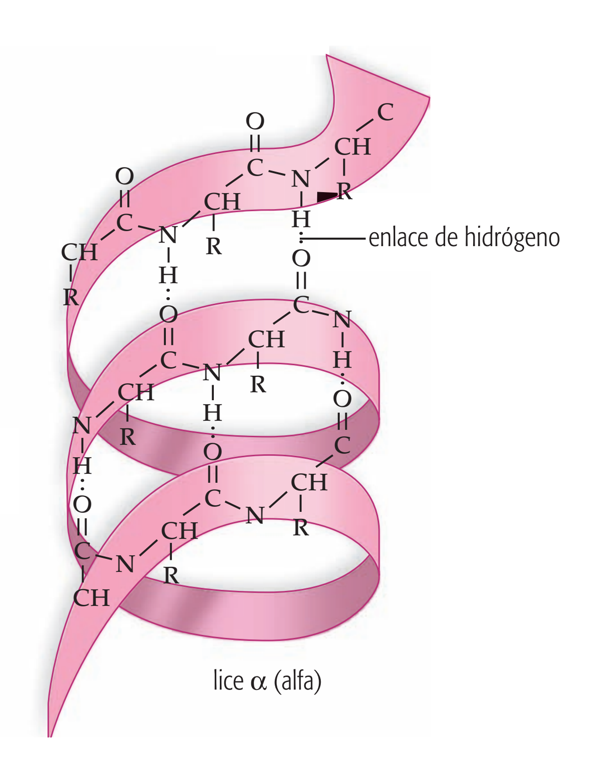
La **estructura primaria** representa el arreglo o secuencia de los aminoácidos. Esta estructura proporciona a las proteínas su identidad única, ya que al cambiar tan solo uno de los aminoácidos, se alteran las propiedades bioquímicas de la proteína (figura 6.15a).

-Gli-Ser-His-Leu-Val-Glu-Ala-Leu



La **estructura secundaria** se debe a interacciones entre aminoácidos no subsecuentes. Esta interacción se debe básicamente a la formación de puentes de hidrógeno entre el grupo amino y el grupo carboxilo de dos aminoácidos lejanos, pero también puede deberse a la formación de puentes disulfuro.

La estructura secundaria define la forma local de segmentos de una proteína. Hay dos formas básicas que se obtienen gracias a la interacción entre aminoácidos no subsecuentes: hélices α y láminas β:



lice α (alfa)

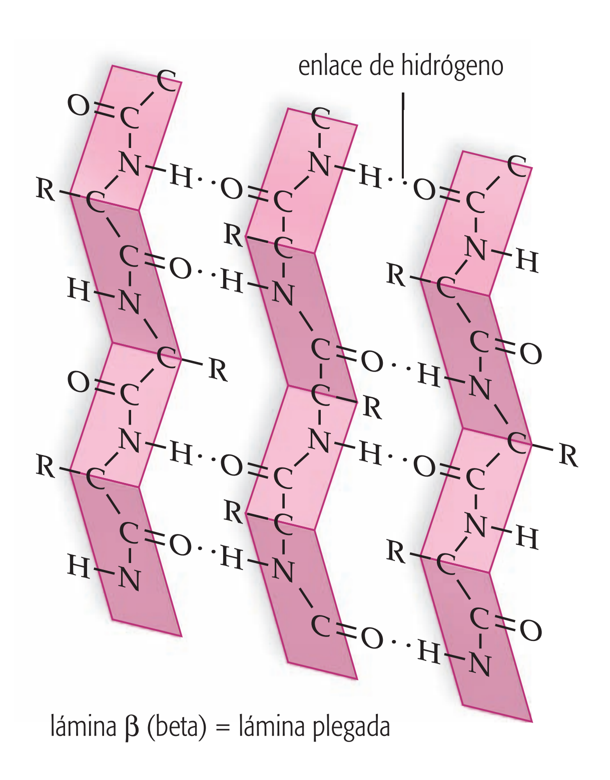


lámina β (beta) = lámina plegada

La **estructura terciaria** establece que las cadenas de polipéptidos se enrollan sobre sí mismas adquiriendo una forma globular. Gracias a esta estructura terciaria, las proteínas se clasifican en fibrosas, globulares y mixtas (figura 6.15c).

La **estructura cuaternaria** es la relación espacial de una cadena polipeptídica en relación con al menos otra cadena o subunidad (figura 6.15d).

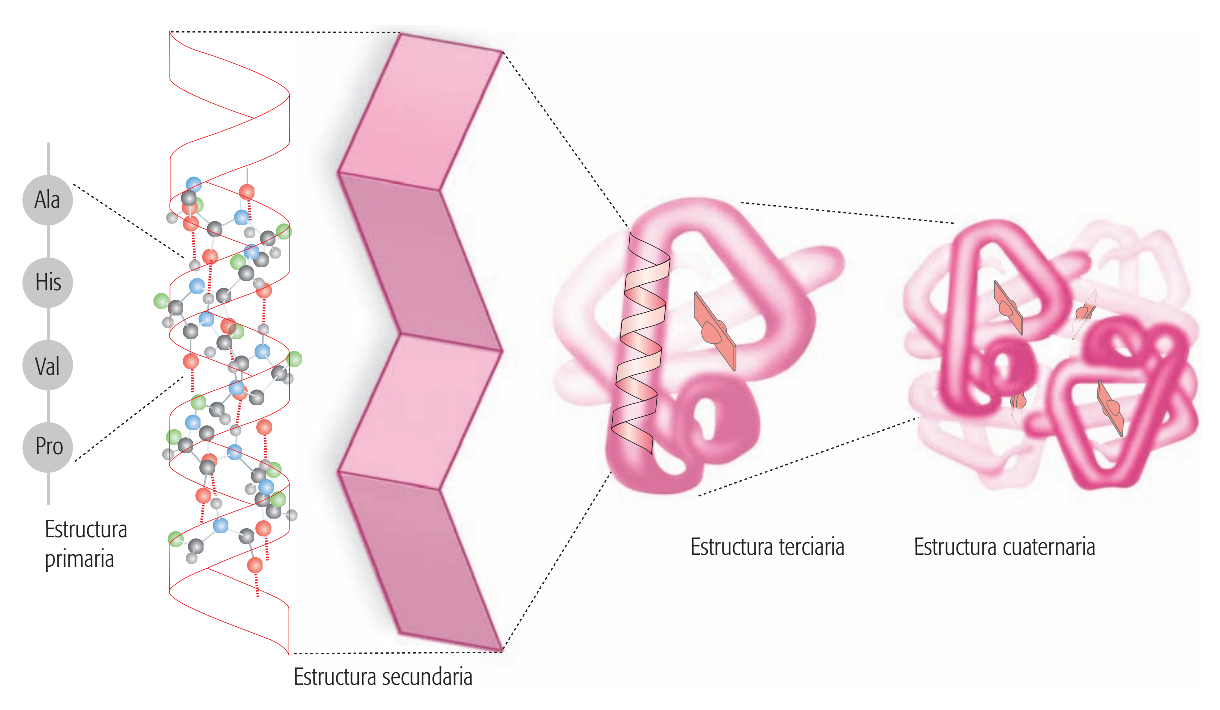


Figura 6.15 *Estructura de las proteínas* Aquí se muestran ejemplos de las estructuras primaria, secundaria, terciaria y cuaternaria.

Clasificación de las proteínas

Las proteínas se clasifican en simples y conjugadas. De una manera general, se puede afirmar que las proteínas simples sólo producen aminoácidos cuando se hidrolizan, mientras que las conjugadas producen aminoácidos y otras sustancias diversas. Como ejemplo de las proteínas simples, se encuentran las albúminas, globulinas, histonas, protaminas, prolaminas y glutelinas; de las proteínas conjugadas, se tiene a las fosfoproteínas, cromo-proteínas, núcleoproteínas, glicoproteínas y lipoproteínas.

Importancia de las proteínas

La mitad de la masa no acuosa de nuestro cuerpo está formada por proteínas; componen los músculos, cartílagos y tendones. Sin embargo, un poco menos de la cuarta parte de las proteínas del cuerpo humano forman estas estructuras, el resto actúa como catalizadores biológicos llamados **enzimas**. Las enzimas permiten que en el organismo ocurran las reacciones para producir la energía indispensable para la vida (figura 6.16).



Figura 6.16 *Usos de las enzimas* Las proteasas son un grupo de enzimas que se encuentran en muchos productos domésticos. Estas enzimas hidrolizan las proteínas y las convierten en aminoácidos libres. Las proteasas de los ablandadores de carne suavizan el bistec al degradar el colágeno y otras proteínas fibrosas.

Las proteasas de los líquidos para limpiar los lentes de contacto ayudan a eliminar la mugre acumulada en los lentes, que se debe a las proteínas secretadas por las células que están alrededor de los ojos.

Funciones comunes de las proteínas

Estructura Las proteínas dan fuerza a los tendones, huesos y piel. Los cartílagos, el cabello, la lana, las uñas y las garras están formadas principalmente de proteínas. Los virus tienen un recubrimiento externo de proteínas.

Movimiento Las proteínas son los principales componentes de los músculos y les permiten la capacidad de contracción. El esperma puede desplazarse por la contracción de los filamentos de las proteínas que constituyen su cola.

Catálisis La mayoría de las reacciones químicas de los organismos vivos son catalizadas por enzimas, que casi siempre son proteínas.

Transporte El oxígeno es transportado de los pulmones a los tejidos por la proteína hemoglobina que se encuentra en los glóbulos rojos.

Almacenamiento La proteína *ferritina* almacena hierro en el hígado, en el bazo y en la médula ósea.

Transformación de energía Los citocromos son proteínas que se encuentran en las células. Extraen la energía de las moléculas alimenticias mediante transferencia de electrones a través de una reacción de óxido-reducción.

Protección Los *anticuerpos* son proteínas especiales que se sintetizan en respuesta a sustancias y células extrañas, en especial de tipo bacteriano. A continuación se enlazan con esas sustancias o células y dan inmunidad contra diversas enfermedades. El interferón, una pequeña proteína fabricada y liberada por células cuando se exponen a un virus, protege a otras células de la infección viral. Las proteínas para coagulación sanguínea protegen contra hemorragias.

Control Muchas *hormonas* son proteínas que produce el cuerpo y tienen efectos específicos sobre la actividad de ciertos órganos.

Amortiguadores Como las proteínas contienen grupos ácidos y básicos las cadenas laterales pueden neutralizar tanto a los ácidos como a las bases y, por tanto, tienen acción amortiguadora en la sangre y en los tejidos.

6.4 Ácidos nucleicos

Los ácidos nucleicos reciben este nombre debido a que se descubrieron en el núcleo de las células. Son los mensajeros de la información genética de un organismo.

Este tipo de biomoléculas no se encuentra en los alimentos, aunque forman parte de cada célula vegetal o animal que consumen los seres humanos, el organismo los sintetiza a partir de aminoácidos y carbohidratos. Además de contener la información genética codificada que las células necesitan para reproducirse, también regulan a las células al controlar las síntesis de proteínas que realizan numerosas funciones en las células.

Los dos tipos de ácidos nucleicos son: el ADN (ácido desoxirribonucleico) y el ARN (ácido ribonucleico).

Estructura de los ácidos nucleicos

Los ácidos nucleicos son polímeros formados por bloques llamados **nucleótidos**, los que a su vez constan de tres partes más pequeñas: un grupo fosfato, un azúcar simple y una base nitrogenada.

O^- — P — O — CH_2 (P=O, P—O^-)

Grupo fosfato

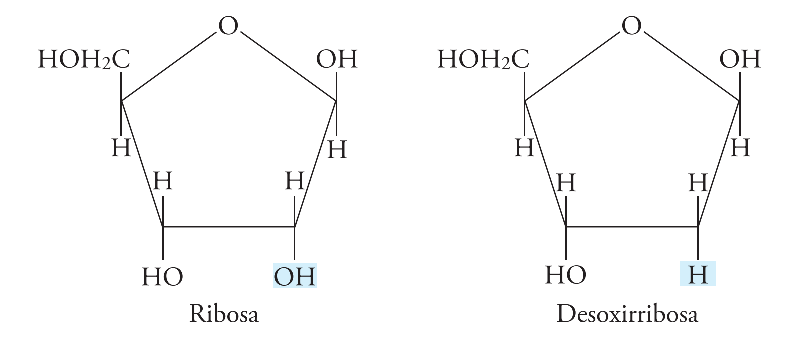
Base nitrogenada (N, C=O, NH_2, CH, N, CH)

Azúcar simple (C—H, C—OH, C—OH, O)

El grupo fosfato consta de átomos de fósforo, oxígeno e hidrógeno enlazados como se observa en la siguiente estructura. Uno de los átomos de oxígeno del fosfato se une con el azúcar.

Un **nucleósido** es la parte del nucleótido formado únicamente por la base nitrogenada y la pentosa. Los nucleósidos pueden ser de dos tipos, dependiendo de la pentosa que contengan:

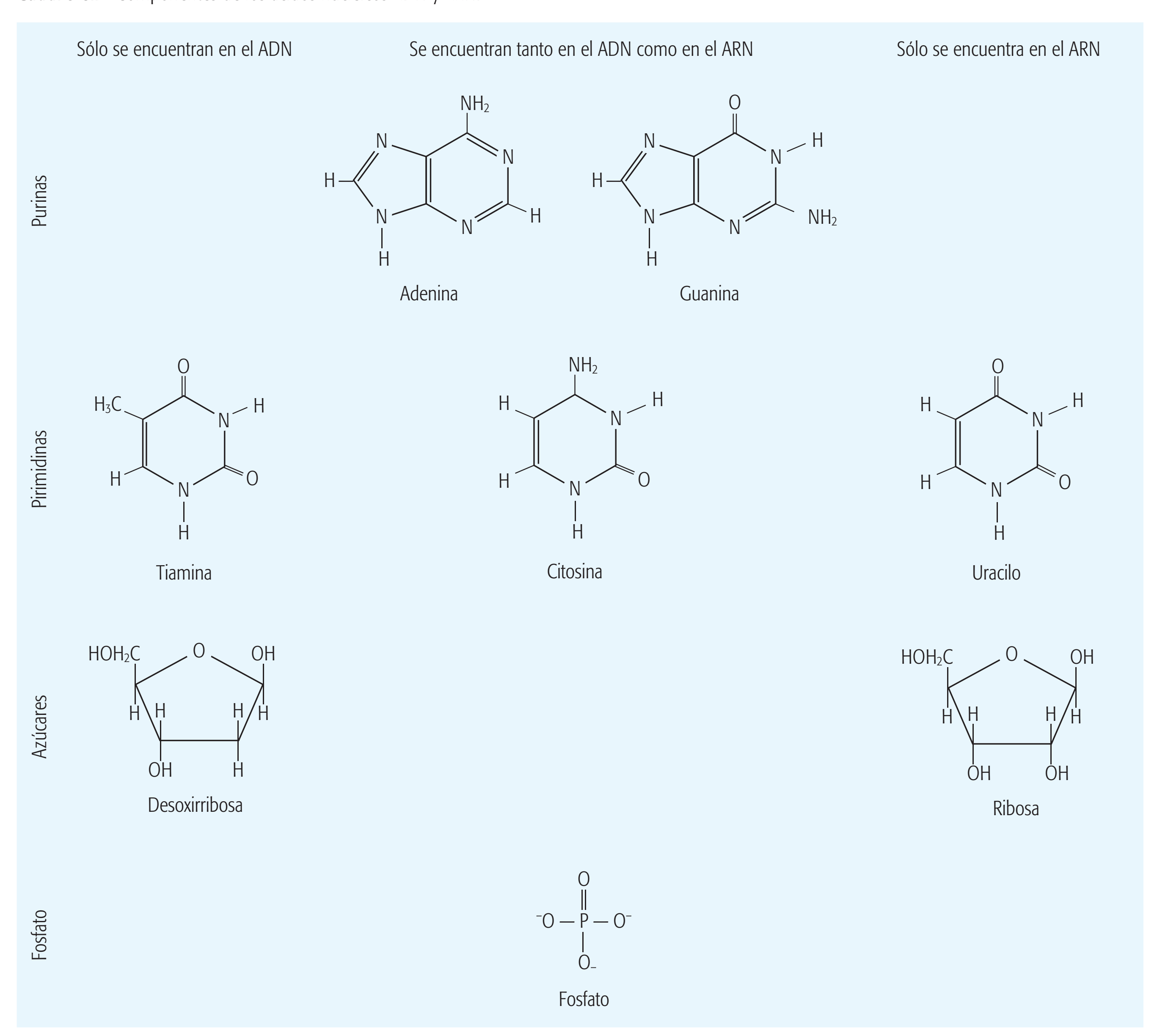
- Ribonucleósidos: la pentosa es la ribosa
- Desoxiribonucleósidos: la pentosa es la 2-desoxirribosa



Ribosa   Desoxirribosa

Son los monómeros de los ácidos nucleicos (ADN y ARN) en los cuales forman cadenas lineales de miles o millones de nucleótidos. En los nucleótidos se encuentran cinco bases nitrogenadas distintas: adenina (A), citosina (C), guanina (G), timina (T) y uracilo (U). El ADN contiene adenina, citosina, guanina y timina pero nunca uracilo; en el ARN se encuentra uracilo en lugar de timina.

Cuadro 6.2 Componentes de los ácidos nucleicos ADN y ARN.



El ADN

En la estructura tridimensional del ácido desoxirribonucleico, ADN, las dos cadenas del esqueleto de azúcar y fosfato se unen a través de los puentes de hidrógeno que se forman entre las bases unidas a cada cadena. Cada base tiene una forma específica que le permite formar puentes de hidrógeno entre bases de cadenas distintas.

En el ADN, la adenina sólo se une con la timina , y la citosina sólo lo hace con la guanina. Cuando las bases de los dos esqueletos del ADN se enlazan entre sí, el ADN adopta una estructura semejante a una escalera. Las bases forman los peldaños y las cadenas del esqueleto constituyen los lados de la escalera. Ahora bien, imagina esta escalera torcida alrededor de un eje. La escalera del ADN se tuerce en una estructura en espiral conocida como doble hélice.

La secuencia específica de las bases en el ADN de un organismo forma su código genético. Este código maestro controla todas las características del organismo porque contiene las instrucciones para sintetizar todas las proteínas que forman el organismo. El código pasa de una generación a la siguiente porque la descendencia recibe copias del ADN de sus progenitores.

En 1963, Francis Crick y James Watson recibieron el Premio Nobel de Química por haber determinado la estructura del ADN. Ellos predijeron correctamente cómo esta estructura permite que el ADN pueda duplicarse rápidamente por las células para que la información genética se transmita a la siguiente generación de células. Este descubrimiento abrió el camino a la ciencia moderna de la genética y sus aplicaciones en ingeniería genética.

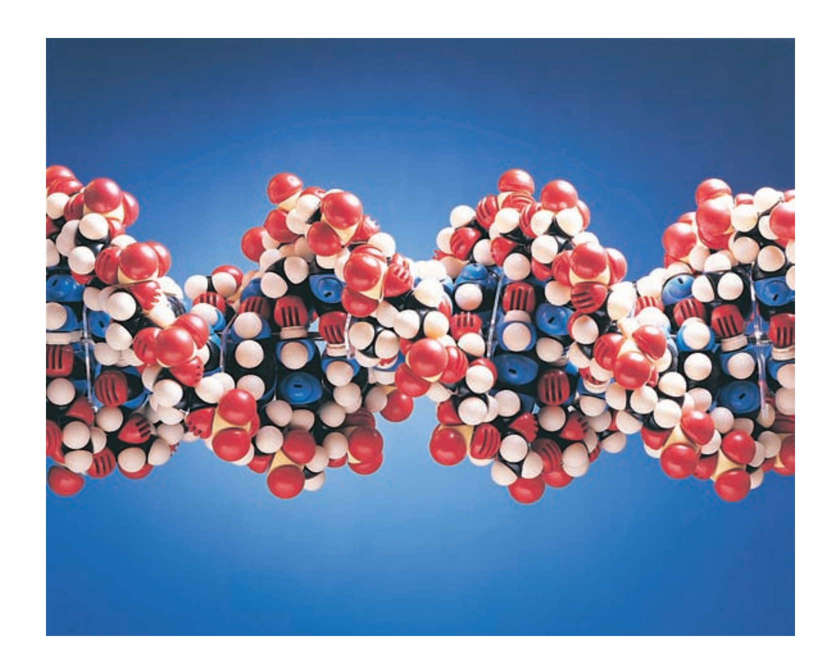


Figura 6.17 *La estructura del ADN*
Este modelo de una parte de la molécula del ADN muestra claramente su complejidad. Una sola molécula de ADN contiene varios miles de nucleótidos.

El ARN

El ácido ribonucleico, ARN, es también un polímero de nucleótidos, pero existen algunas diferencias importantes en su estructura con respecto a la del ADN. Los azúcares que se encuentran en estos dos ácidos nucleicos son distintos y la base de un uracilo sustituye a la timina que se localiza en el ADN. El uracilo se une con la adenina de la misma manera que la timina. La estructura tridimiensional del ARN también es diferente de la que tiene el ADN. El ARN cuenta con una sola cadena de nucleótidos, que se tuerce y forma una hélice. Además, funciona en la célula para llevar la información genética desde el ADN hacia el sitio de síntesis de proteínas, donde dirige la secuencia de los aminoácidos en las proteínas.

Manos a la obra

Conteo de nutrientes

¿Qué porcentaje de la dieta diaria recomendada de grasas, carbohidratos y proteínas consumes cada día?

Materiales

- tabla de información nutrimental
- paquetes de comida y bebidas que consumes durante una semana
- libro o guía de nutrición
- balanza de cocina

Procedimiento

1. Crea una tabla de datos para anotar la masa y porcentaje de la dieta diaria recomendada de grasas, carbohidratos y proteínas que consumes cada día, durante una semana.
2. Después de cada comida o golosina, revisa la tabla de información nutrimental en el paquete para contar el número de gramos de grasa, carbohidratos y proteínas que consumiste. Asegúrate de considerar cuántas porciones de cada comida o bebida que consumes.
3. Cuenta el porcentaje de la dieta diaria recomendada de grasas, carbohidratos y proteínas que consumes cada día, consultando una tabla de nutrición.
4. Cuenta los gramos de grasa, carbohidratos y proteínas que consumiste todos los días durante una semana y calcula el promedio diario de cada nutriente.
5. Calcula el promedio diario del porcentaje de la dieta diaria recomendada de grasas, carbohidratos y proteínas que consumes.

Resuelve

1. Compara tu consumo de grasa, carbohidratos y proteínas con las cantidades recomendadas en el final de la tabla de información nutrimental que elaboraste.
2. Infiere si con esta actividad puedes determinar si una persona lleva una dieta sana.
3. Determina qué cambios podrías considerar en tu dieta diaria, basándote en los resultados de este laboratorio.

Adaptado de Phillips, Strozak, Wistrom, *Química. Conceptos y aplicaciones*, 2a. ed., México, McGraw-Hill Interamericana, 2007, p. 872.

Palabras clave

Lo que aprendí

1. ¿Por qué los carbohidratos reciben este nombre?

2. Escribe la estructura de una cetotetrosa.

3. ¿Cómo se forma un hemiacetal?

4. En la siguiente estructura indica los números que corresponden a los carbonos quirales.

```
       CH2OH
        |
        C = O
        |
HO —    C — H
        |
  H —   C — OH
        |
       CH2O
```

5. ¿Cuál es el monómero del almidón y celulosa?

6. ¿Qué otro nombre recibe la D-fructosa y dónde se encuentra?

7. ¿Qué nombre recibe el enlace mediante el cual se unen las moléculas de monosacáridos?

8. ¿Cuáles son los monosacáridos que forman la sacarosa?

9. ¿Qué es un polisacárido? Proporciona dos ejemplos.

10. ¿Qué es el glucógeno?

11. ¿Qué sustancias intervienen en la formación de los triglicéridos?

12. ¿Cuál es el nombre común de los céridos? Menciona dos ejemplos.

13. ¿Cuál es la diferencia entre glicéridos y fosfolípidos?

14. ¿A qué se llama hidrólisis?

15. ¿Qué nombre reciben los aminoácidos que no pueden ser sintetizados por el cuerpo humano? Cita dos ejemplos.

16. ¿Qué permite a una proteína tener una estructura secundaria?

17. Escribe el nombre de los siguientes compuestos (escribe D, L, en los dos primeros y además α o β en los dos segundos, según corresponda, cuando se trate de carbohidratos):

```
        CHO                     CH2OH
         |                        |
    H — C — OH                  C — O
         |                        |
    H — C — OH             OH — C — H
         |                        |
   HO — C — H               H — C — OH
         |                        |
   HO — C — H                   CH2OH
         |
        CH2OH
```

```
        CH2OH                          CH2OH
         |                              |
  H     C ——— O        H         H     C ——— O        OH
  |   /  |      \      |         |   /  |      \      |
  |  /   H       \     |         |  /   H       \     |
  C                   C    O    C                   C
  | \  OH     H      /                \  OH     H  / |
  OH \  |     |     /                  \  |     | /  H
      C ——— C                          C ——— C
      |       |                          |       |
      H       OH                         H       OH
```

18. Escribe la fórmula estructural de cada uno de los siguientes compuestos:

- Glicerol

- D-Glucosa (cadena abierta)

- D-β-Galactosa (proyección de Haworth)

- Lactosa

- Almidón

- Leu

19. ¿Qué azúcar contiene el ácido desoxirribonucleico?

____

____

____

20. ¿Cuáles son las partes que forman un nucleótido?

____

____

____

21. ¿Por qué los ácidos nucleicos reciben este nombre?

____

____

____

22. ¿Cuál es la principal función del ADN?

____

____

____

Unidad 7

Tecnología química

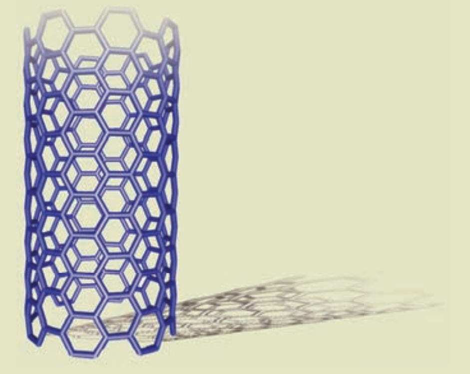


La tecnología química se refiere al conjunto de técnicas gracias a las cuales se pueden obtener, mediante el uso de reactores y en condiciones controladas, productos químicos a gran escala, que permitan incrementar la calidad de vida de los seres humanos.

Contenido

Objetivo de la unidad

La presente unidad tiene como objetivo mostrar al estudiante la importancia de las reacciones de los compuestos químicos orgánicos para la síntesis, a nivel industrial, de diferentes productos que se utilizan cotidianamente. Al terminar, el alumno conocerá algunos de los diversos procesos tecnológicos empleados en la industria química.

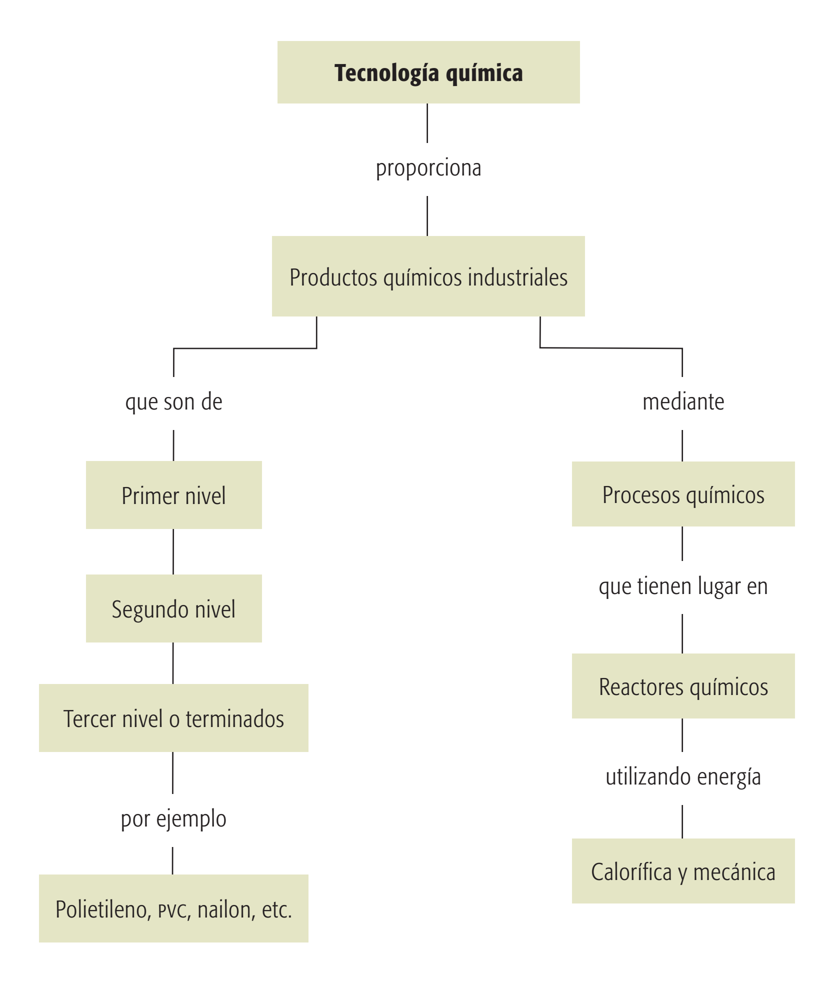


Nanotubo de carbono

¿Cuánto sabes?

1. ¿Qué entiendes por tecnología?
2. ¿Qué es un proceso químico?
3. Menciona algunos productos actuales que sean obtenidos mediante procesos tecnológicos químicos y que sean benéficos para la humanidad.
4. Menciona algunos productos destructivos o perjudiciales derivados de la tecnología química.
5. ¿Qué es el petróleo crudo?
6. Define el concepto de caloría.
7. ¿Qué componente existe en menor cantidad en una solución?
8. ¿Qué es un catalizador?
9. ¿Qué entiendes por reciclar?

Mapa conceptual Unidad 7.1



Introducción

La Revolución Industrial dio paso a la producción de grandes volúmenes de bienes. Esto permitió que con el aumento en los niveles de producción, se desarrollara también la ciencia, gracias a lo cual la sociedad aceptó este cambio tecnológico. Sin embargo, durante las últimas décadas, algunos observadores han advertido sobre ciertos resultados de la tecnología que provocan aspectos destructivos y perjudiciales. Entre otros peligros se señala que:

- Los gases de combustión de los automóviles e industriales contaminan la atmósfera (figura 7.1);
- Los recursos mundiales se usan por encima de sus posibilidades;
- Los pesticidas amenazan la cadena alimenticia, y los residuos minerales de una gran variedad de recursos industriales contaminan las reservas de agua subterránea.



Figura 7.1 Gases contaminantes de la atmósfera.

En las investigaciones desarrolladas por los especialistas, se argumenta que el medio ambiente ha sido muy dañado por los procesos tecnológicos, y que uno de los mayores desafíos de la sociedad moderna es la búsqueda de lugares para almacenar la gran cantidad de residuos que se producen. Aseguran que los problemas originados por la tecnología son consecuencia de la incapacidad del ser humano de predecir o valorar sus posibles consecuencias negativas.

Siendo más positivos, la evolución tecnológica ha permitido el incremento de la producción de bienes materiales y de servicio, y ha reducido la cantidad de trabajo necesario para fabricar una gran serie de productos (figura 7.2).

En los países desarrollados, las máquinas realizan la mayor parte del trabajo, y producen en menos horas laborales más bienes que hace un siglo.

En la actualidad, una buena parte de la población tiene un mejor nivel de vida y, en general, muchas personas viven más y de forma más sana como resultado de la tecnología química.



Figura 7.2 *Telefonía celular* La revolución tecnológica ha reducido la cantidad de trabajo para fabricar en serie muchos productos.

7.1 Productos químicos industriales

La tecnología química se basa en el conocimiento de las reacciones químicas que se pueden provocar y controlar para la transformación de sustancias simples y en productos químicos, que satisfagan una necesidad determinada. Por esta razón, para la fabricación industrial de un producto químico, se requieren procedimientos de diseño de las diversas operaciones que esto implica.

Esto último demanda el conocimiento de los fenómenos físicos y químicos que ocurren en un proceso específico, con el objetivo de crear productos de mayor valor económico, mejorar las técnicas de trabajo y desarrollar procesos para economizar tiempo y costo.

7.2 Niveles de producción de productos químicos

Primer nivel

Los compuestos se producen directamente a partir de materias primas por simple purificación o por transformaciones muy sencillas. Su característica es que pueden producirse a gran escala, y en general sirven de **materia prima** para la fabricación de productos químicos secundarios y productos terminados. Son productos de primer nivel los obtenidos en la agricultura, ganadería, silvicultura, etcétera (figura 7.3).



Figura 7.3 *Madera* La madera es un producto de primer nivel.

Segundo nivel

Los productos químicos de este nivel se producen a menor escala que los primarios, pero su variedad es mucho mayor. Se transforman mediante reacciones químicas a través de procesos físicos, y sus características les permiten que sean utilizados como materia prima para la preparación de productos terminados; por esta razón, son productos que normalmente no se usan de forma directa por el consumidor. La calidad depende del fabricante que los produzca (figura 7.4).



Figura 7.4 *Pulpa de celulosa* Producto de segundo nivel.

Tercer nivel

Para la elaboración de estos productos cada fabricante le aplica un terminado final, y aunque algunos de estos productos todavía no están preparados para los consumi-

dores, pasan por una adición de compuestos o una manipulación para su consumo posterior (figura 7.5).



Figura 7.5 *Papel* El papel, producto de tercer nivel, se obtiene de las fibras vegetales de celulosa.

Como ejemplo de lo anterior, puede tomarse el caso de las transformaciones del etileno (primer nivel), el cual se obtiene al destilar el petróleo o el gas natural. Del etileno se llega al óxido de etileno y al cloruro de etileno, que sirven para fabricar plásticos de policloruro de vinilo o PVC (figura 7.6).

$$CH_2{=}CH_2 \longrightarrow CH_2{=}\underset{}{\overset{\overset{\displaystyle Cl}{|}}{CH}} \longrightarrow CH_2{-}\overset{\overset{\displaystyle Cl}{|}}{CH}{-}(CH_2{-}\overset{\overset{\displaystyle Cl}{|}}{CH})_n{-}\overset{\overset{\displaystyle Cl}{|}}{CH}{-}CH_2$$

Etileno (Primario) — Cloruro de vinilo (Secundario) — Policloruro de vinilo PVC (Terminado)



Figura 7.6 *PVC* Tubería de policloruro de vinilo o PVC.

Para que países como México o Venezuela, productores de petróleo, mejoren sustancialmente la economía de sus habitantes, es importante que el petróleo no se comercialice únicamente como materia prima o producto de primer nivel (petróleo crudo), sino de otra forma que le reditúe un mayor valor agregado. De hecho, en los países desarrollados el petróleo crudo y el gas natural son básicamente la fuente económica de mayor importancia, ya que se utilizan para la fabricación de productos terciarios que suponen grandes beneficios económicos y mejores niveles de vida (figura 7.7).

El cuadro 7.1 muestra que el petróleo crudo en forma de combustible no es tan rentable si se presenta como producto químico terminado, el cual tiene además una gran demanda.



Figura 7.7 *Envase de polietileno*
Este envase está hecho de polietileno, uno de los plásticos más comunes, gracias a su alta producción en el mundo y a su bajo costo.

Cuadro 7.1 Valor agregado en el procesamiento del petróleo

Forma de presentación	Valor
Petróleo crudo	1 tanto
Combustible	4 tantos
Producto secundario	15 tantos al menos
Producto terminado	60 tantos al menos

7.3 Procesos químicos

Durante la fabricación de un producto se necesita de materias primas, las cuales se manipulan mediante operaciones físicas de acondicionamiento y la aplicación de energía para producir una reacción química, y así conducir hasta la fabricación de un producto, al que habrá que separar de los reactivos que no reaccionaron.

En todo proceso químico, se necesita aplicar energía calorífica y mecánica para que las materias primas se transformen dentro de reactores químicos y, frecuentemente bajo la acción de un catalizador, en los productos deseados. Desafortunadamente, junto con los productos también se obtienen otras sustancias, que son consideradas como subproductos y residuos (figura 7.9).



Figura 7.8 *Fabricación industrial*
En el proceso de fabricación industrial, la materia prima se manipula mediante cambios físicos y reacciones químicas hasta lograr el producto terminado.



Figura 7.9 *Componentes esenciales de los procesos químicos*

A continuación encontrarás una explicación más detallada de lo que son los reactores, los catalizadores, la energía calorífica y la energía mecánica.

Reactores químicos y catalizadores

Los **reactores químicos** son los recipientes industriales en los que se puede trabajar para obtener producciones de mediana a gran escala. Son fabricados con diferente geometría y se revisten internamente de acuerdo con el tipo de reacciones que se vayan a realizar (ácidas, neutras o alcalinas), pudiendo ser manipulados para controlar la presión y la temperatura interna.

Los reactores se pueden emplear para reacciones en fase líquida homogénea, es decir, cuando los reactivos son líquidos y dan lugar a un sólido; también cuando todos los reactivos son líquidos excepto uno, por ejemplo, un gas que se hace borbotear en el líquido.

Hay también reactores tubulares que se emplean cuando se trabaja con reactivos en fase gaseosa. En ellos es frecuente la presencia de **catalizadores** que normalmente se encuentran en fase sólida. El diseño de estos reactores depende de la cantidad de calor que se libere durante el proceso y del tiempo de residencia necesario en el interior del reactor.

Los reactores en forma de hornos rotatorios se emplean en la industria del café; son una variante de los reactores tubulares. En este caso el sólido avanza por el tubo gracias a cierta inclinación que va acompañada de una rotación. Por lo general, se emplean altas temperaturas.

Hay también los reactores biológicos, en los que intervienen microorganismos, como diversos tipos de materias y levaduras (hongos). Son prácticamente la base de la biotecnología. Dentro de este tipo de reactores se encuentran las autoclaves y los fermentadores (figura 7.10).

¿Sabías que...?

En el siglo XVII las destilerías procesaban los productos de la fermentación para concentrar el etanol. Los destilados se sometían a pruebas para descubrir su grado de inflamabilidad. Para ello, los destilados se quemaban sobre pequeñas pilas de pólvora. Si el destilado contenía por lo menos 50% de alcohol, la pólvora se quemaba después de la combustión del alcohol. Este resultado era una evidencia de la calidad del alcohol y de ahí proviene que el alcohol de 50% se califique como graduación de 100%.



Figura 7.10 *Reactor biológico* Las levaduras fermentan los azúcares de las frutas y producen etanol y dióxido de carbono. El proceso anaeróbico debe llevarse a cabo en contenedores herméticos como estos enormes tanques.
Las válvulas de una vía dejan escapar el dióxido de carbono del líquido de fermentación sin permitir la entrada de aire.

Por último, pueden mencionarse los reactores electroquímicos, en los que se utilizan electrodos a los que se les suministra energía. Es precisamente en los electrodos en donde se obtienen los productos de reacción.

Energía calorífica

Es la energía que se suministra en forma de calor a un reactor para que ocurra una reacción química. El calor suministrado aumenta la temperatura de la materia prima hasta llevarla a la temperatura necesaria para que ocurra la reacción (figura 7.11). La energía calorífica se mide en calorías o joules.

Dependiendo de la temperatura que demande el reactor para mantener la reacción de la materia prima, la energía calorífica suministrada al sistema debe mantenerse durante todo el proceso, o bien sólo al inicio de la reacción, o incluso algunas veces habrá que eliminar calor del reactor para mantener la temperatura adecuada del proceso de fabricación.



Figura 7.11 *Energía calorífica* Este reactor aplica calor para laminar acero, plástico, vidrio, etcétera.

Energía mecánica

La fabricación de productos químicos a nivel industrial demanda energía mecánica, según la etapa en la que se encuentre el proceso. Las unidades utilizadas para medir este tipo de energía son los caballos de potencia (hp).

El inicio del proceso demanda energía mecánica para la carga de la materia prima al reactor; luego, se requiere energía para homogeneizar los reactivos –al inicio, durante y al final de la reacción–, específicamente en este caso, es necesaria la agitación. Al final, una vez que se ha obtenido el producto deseado, se aplica energía mecánica para trasladarlo hacia el almacén de producto acabado o envasarlo para su presentación final (figura 7.12).



Figura 7.12 *Obtención de concreto* Claro ejemplo de la aplicación de energía mecánica.

Lectura Fuentes alternativas de energía

El mayor suministro de energía de la humanidad proviene del uso de combustibles fósiles. A medida que avanza el tiempo se hace cada vez más imperante buscar fuentes de energía que presenten una alternativa al uso de este tipo de combustibles, debido a dos factores esenciales. El primer factor es el hecho de que los procesos de combustión a los que se deben someter los combustibles fósiles para obtener energía generan gases invernadero y otros compuestos contaminantes, como dióxidos de azufre y partículas de carbono que quedan suspendidas en el aire. El segundo factor está relacionado con el hecho de que los combustibles fósiles constituyen una fuente de energía no renovable y su suministro se está agotando. El uso de fuentes alternativas de energía, renovables, puede prolongar el suministro de los combustibles fósiles y mejorar problemas de contaminación del medio ambiente.

Energía solar Una fuente alternativa de energía es la energía solar. El Sol seguirá suministrando energía durante los próximos 5 mil millones de años. En países como Estados Unidos, más de 300 000 hogares usan energía solar para la calefacción interna. En la figura 7.13 se muestra un hogar con energía solar, construido para capturar la energía solar y convertirla en calor para calentar las habitaciones. Las paredes, los pisos de losa de arcilla, las ventanas triples y los techos intensamente aislados conservan el calor durante el invierno. Un saliente evita la entrada a la casa de los rayos solares de alta energía durante el verano, pero no bloquea a los rayos solares de baja energía durante el invierno.



Figura 7.13 *Energía solar* Aprovechamiento doméstico de la energía solar.

Las celdas fotovoltaicas usan la energía solar para producir electricidad. Estas celdas solares están formadas por capas de silicio con pequeñas cantidades de galio o fósforo, que tienen la capacidad de emitir electrones por la acción de la luz solar. Para que las celdas solares puedan usarse como fuente de electricidad para el uso diario, deben resolverse dos problemas importantes: la eficiencia de la conversión de la luz solar en energía eléctrica, y la formulación de formas eficientes de almacenamiento de la electricidad para su uso durante las horas de oscuridad o durante los periodos de tiempo nublado.

Energía geotérmica El magma, que son rocas fundidas, puede calentar rocas sólidas que rodean la cámara de magma. Cuando esto sucede, el agua de las rocas porosas que están sobre las rocas sólidas, se convierte en vapor; la presencia de grietas de las rocas sólidas, permite que el vapor salga a la superficie, formando un géiser o manantial caliente. Esto es una fuente natural de energía geotérmica. Muchas regiones naturales de energía geotérmica se encuentran en las franjas de temblores y de volcanes de las placas terrestres.

Los géiseres del parque nacional de Yellowstone (Estados Unidos) son una prueba del calor almacenado bajo el suelo. Esta energía se puede utilizar para el funcionamiento de plantas generadoras de electricidad. La planta más grande de energía geotérmica en el mundo se encuentra en Los Géiseres de California, la cual genera 1000 megawatts de energía eléctrica, cantidad suficiente para satisfacer las necesidades de un millón de personas.

La energía geotérmica natural está disponible sólo en unos cuantos lugares del mundo (figura 7.14). Para crear sitios nuevos es necesario hacer perforaciones profundas.

Aunque una planta de energía geotérmica genera electricidad con un costo de la cuarta parte del de una planta de energía nuclear y de la mitad del costo de una planta de carbón, resultan muy caras las perforaciones para llegar a una cámara de magma. Otra desventaja de estas plantas es que producen contaminación en el aire porque de las profundidades de la Tierra se liberan sulfuro de hidrógeno, amoniaco y materiales radiactivos.



Figura 7.14 *Géiser* Fuente natural de energía geotérmica.

Energía eólica En algunas partes la energía eólica es una fuente casi ilimitada. El viento puede mover turbinas, como las que se muestran en la figura 7.15, que producen energía mecánica. Un generador convierte la energía mecánica en eléctrica. Por lo general se necesitan cientos de turbinas de viento para el funcionamiento de una planta de energía.

La energía eólica no emite contaminantes al aire. No necesita agua para enfriarse; sin embargo, sólo se puede usar en regiones con vientos confiables. Cuando cesan los vientos, se debe tener un sistema de respaldo para la producción de electricidad. En la actualidad, algunas veces la energía del viento tiene un costo más alto que otras fuentes de energía. Esto puede modificarse con turbinas de viento más baratas.



Figura 7.15 *Energía eólica* Turbinas para aprovechar la energía eólica. Este tipo de energía no emite contaminantes al aire.

7.4 Factores que intervienen en la formación de un producto químico

Debido a que durante las diferentes etapas de fabricación de un producto químico se generan cambios de calor, y éste se encuentra íntimamente relacionado con la temperatura de los materiales, a continuación se mencionan algunas de las propiedades más importantes de la materia que se modifican como función de la temperatura a la que se encuentre.

Solubilidad

La **solubilidad** es la capacidad de una sustancia para disolverse en otra. La solubilidad de una sustancia en otra se relaciona con su similitud respecto a las cargas eléctricas totales, parciales y nulas que contienen. Por ejemplo, el agua que es un compuesto polar, es capaz de disolver sustancias que sean polares: el agua puede disolver etanol, acetona y ácido acético, debido a que estos compuestos tienen grupos polares en su estructura. Así, las moléculas de agua son capaces de *solvatar* (rodear) las moléculas de este tipo de compuestos orgánicos y producir soluciones líquidas homogéneas.

Generalmente, la solubilidad está directamente relacionada con la temperatura, es decir, cuanto más elevada sea la temperatura a la que se realice una solución, mayor será la proporción de soluto que se disolverá en el solvente. Lo contrario también es cierto.

Densidad

La materia posee masa y volumen. La misma masa de sustancias diferentes tiene distintos volúmenes. Por ejemplo, una cierta cantidad de hierro ocupa poco espacio, mientras que la misma cantidad de plástico ocupa más espacio. La propiedad que permite medir la ligereza o pesadez de una sustancia recibe el nombre de **densidad**.

$$d = \frac{m}{v}$$

d = densidad m = masa v = volumen

El cociente entre la masa (m) de un cuerpo y el volumen (v) que ocupa se denomina densidad. Por tanto, como en el SI (Sistema Internacional de Unidades) la masa se mide en kilogramos (kg) y el volumen en metros cúbicos (m^3), la densidad se medirá en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3). Sin embargo, es más común emplear el gramo por centímetro cúbico (g/cm^3 = o g/mL). En estas unidades, la densidad del agua es 1 g/cm^3 (o bien 1 g/mL).

Una sustancia flotará sobre otra si su densidad es menor. Los ejemplos más típicos son el de la madera que flota sobre el agua y el del plomo que se hunde en ella (figura 7.16). Es claro que el plomo posee mayor densidad que el agua, mientras que la densidad de la madera es menor que la del agua; pero si estas sustancias se depositan en un líquido como la gasolina, ambas, madera y plomo, se hundirán.





Figura 7.16 *Ejemplos de densidad a*) la madera flota porque es menos densa que el agua; *b*) el plomo se hunde porque es más denso que el agua.

Cuando se mezcla agua –cuyas moléculas se unen por atracciones bipolares– y aceite –con moléculas no polares–, el aceite, de menor atracción intermolecular, al poseer menor densidad, queda sobre el agua.

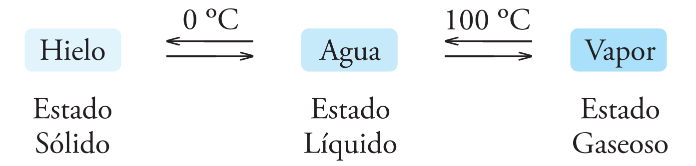
La densidad de la materia también se ve afectada por la temperatura; por lo general, el comportamiento de la densidad es inversamente proporcional a la temperatura. Recuerda que a medida que aumenta la energía calorífica de la materia, las moléculas empiezan a vibrar y a moverse, con lo cual requieren mayor espacio, que se traduce en mayor volumen. En los sólidos este fenómeno es conocido como dilatación.

Viscosidad

La viscosidad (μ) se puede considerar como una medida de la resistencia a la deformación de la materia, y de manera más o menos general puede representarse de la siguiente manera:

$$\text{Viscosidad} = \frac{\text{Fuerza para hacer fluir la materia}}{\text{Deformación que experimente}}$$

Si se consideran los estados de la materia, es fácil deducir que los sólidos son mucho más viscosos que los líquidos y los gases. Sin embargo, el estado de agregación de la materia depende de la temperatura a la que se encuentre tal como sucede con el agua, que cambia de estado de agregación a medida que aumenta la temperatura.



Por tanto, resulta evidente que al aumentar la temperatura disminuye la viscosidad de la materia, o lo que es lo mismo, mientras más separadas se encuentren sus moléculas, menor resistencia presentarán para fluir.

Catalizadores

Los catalizadores son sustancias que varían la velocidad de la reacción. Normalmente son aceleradores de la reacción, pero en algunos casos también pueden retardarla. La función de los catalizadores es modificar la manera de pasar de reactivos a productos.

7.5 Fabricación de productos químicos orgánicos

Las principales fuentes de hidrocarburos para la fabricación a nivel industrial de productos químicos orgánicos son el carbón, el petróleo, el gas natural y las grasas animales; observa cómo se obtienen de acuerdo con las categorías establecidas en la sección 7.2.

Productos químicos de primer nivel

Se elaboran a partir de los elementos contenidos en las fuentes originales de carbón. Según se observa en la torre de destilación del petróleo (figura 7.17), uno de los productos de destilación del petróleo crudo es la nafta, con la cual se ejemplifica este apartado. Como productos químicos de primer nivel o básicos se hace referencia a los compuestos olefínicos del tipo del etileno, propileno, butenos y butadienos, así como a compuestos aromáticos del tipo del benceno, el tolueno y el xileno.

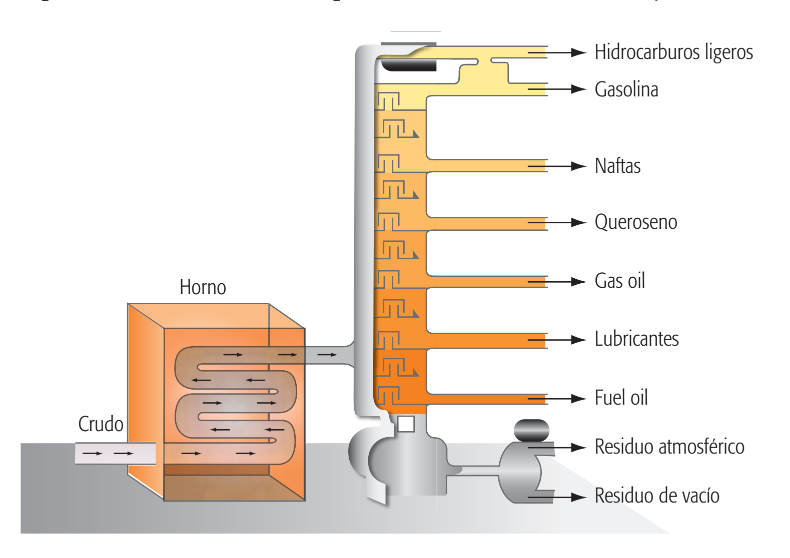


Figura 7.17 *Torre de destilación para el petróleo*

La producción de productos químicos primarios también implica la transformación de compuestos químicos simples en productos químicos más o menos complejos, mediante reacciones químicas que impliquen restructuraciones moleculares, como la hidrogenación y la deshidrogenación. Por ejemplo, la deshidrogenación de alcanos alifáticos para obtener compuestos insaturados y aromáticos (como el benceno, tolueno y xilenos), mediante el uso de catalizadores de platino.

La figura 7.18 muestra un esquema de cómo se obtienen olefinas lineales a partir de nafta (mezcla de hidrocarburos).

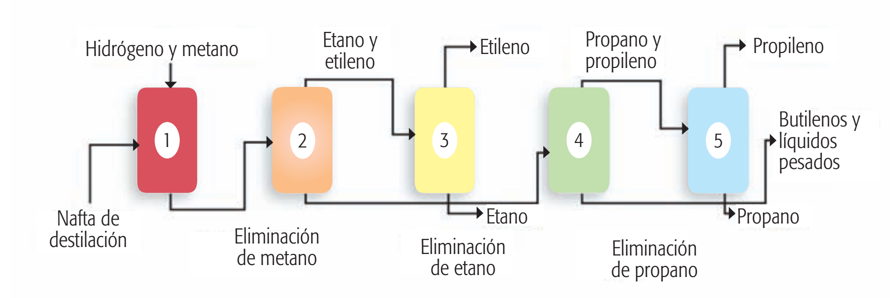


Figura 7.18 *Obtención de olefinas lineales a partir de nafta*

De acuerdo con la figura anterior, el producto del reactor 3 se puede utilizar como materia prima para la síntesis del polietileno; el producto del reactor 5 para la producción de polipropileno, y mediante una serie de procesos de separación se obtiene el butileno puro, que sirve para la obtención del polibutadieno.

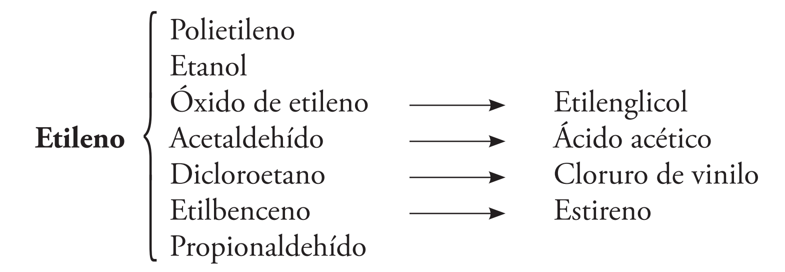
Los compuestos aromáticos de mayor importancia en la industria química secundaria son el benceno, el tolueno y los xilenos. Estos hidrocarburos se encuentran en la gasolina natural, es la gasolina obtenida directamente de la primera destilación del petróleo crudo, en mínimas concentraciones, por lo que resulta incosteable su extracción para utilizarlos como materia prima en otros procesos. Para la obtención de hidrocarburos aromáticos se utiliza el proceso denominado reestructuración molecular catalítica. En este caso, el número de átomos de carbono de los constituyentes de la carga no varía. Por ejemplo, el ciclohexano se puede transformar en benceno. También es posible convertir ciclohexanos sustituidos en bencenos sustituidos, así como en parafinas lineales como el *n*-heptano, las cuales se convierten más tarde en tolueno. De la misma manera, los ciclopentanos sustituidos pueden experimentar una expansión en el anillo y convertirse en compuestos aromáticos.

Productos químicos secundarios

Este tipo de productos tienen como característica la inserción de átomos diferentes al carbono y al hidrógeno a los productos químicos primarios, descritos en el apartado anterior; por ejemplo, oxígeno, cloro, nitrógeno, etcétera. También se consideran productos químicos secundarios los resultantes de reacciones de adición de diferentes moléculas de hidrocarburos.

Por sus propias características, muchos de estos compuestos son en sí mismos productos terminados, por ejemplo, los disolventes y los aditivos para gasolinas, así como los aditivos utilizados en alimentos, cosméticos, etcétera. **Los productos químicos secundarios más importantes se derivan del etileno, propileno, buteno y butadieno, benceno, tolueno y xileno**. En los siguientes esquemas se describen de manera breve algunos de los derivados más importantes de cada uno de estos materiales.

Derivados del etileno



El polietileno se fabrica industrialmente utilizando un iniciador formador de radicales, tipo peróxido en presencia de catalizadores de cloruro de aluminio tipo Ziegler-Nafta.

Industrialmente, el etanol se obtiene mediante la reacción de etileno con agua en presencia de ácido sulfúrico concentrado.

$$CH_2{=}CH_2 + H_2O \xrightarrow[H_2SO_4]{} CH_3{-}CH_2{-}OH$$

Para la obtención del óxido de etileno, se hace reaccionar el etileno con el oxígeno, en fase gaseosa, utilizando como catalizadores sales de plata.

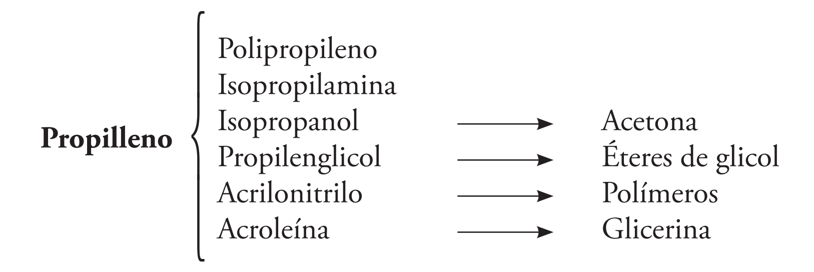
La tecnología para fabricar acetaldehído consiste en hacer reaccionar el etileno con una solución de ácido clorhídrico, utilizando como catalizadores cloruros de paladio y de cobre.

El dicloroetano se obtiene cuando el etileno reacciona con el cloro en presencia de cloruro férrico como catalizador.

Industrialmente, el etilbenceno se obtiene de la reacción del etileno con benceno, utilizando como catalizador ácido fosfórico.

Para obtener el propionaldehído, se hace reaccionar el etileno con hidrógeno y monóxido de carbono.

Derivados del propileno



El polipropileno se fabrica industrialmente utilizando un iniciador formador de radicales, tipo peróxido, en presencia de catalizadores de cloruro de aluminio tipo Ziegler-Nafta.

La producción de isopropilamina se realiza haciendo reaccionar el óxido de propileno con amoniaco hasta que la reacción se complete.

Industrialmente, el isopropanol o alcohol isopropílico se obtiene haciendo reaccionar el propileno con agua en presencia de ácido sulfúrico.

$$CH_2 = \underset{}{\overset{CH_3}{\overset{|}{C}}}H + H_2O \xrightarrow[H_2SO_4]{} CH_3 - \underset{OH}{\underset{|}{C}}H - CH_3$$

El propilenglicol es un producto de bajo peso molecular que se obtiene a partir del óxido de propileno yagua.

Los éteres de glicoles se obtienen haciendo reaccionar el óxido de propileno con un alcohol. Generalmente éstos son el metanol o el etanol.

El acrilonitrilo se obtiene como primer compuesto durante la oxidación del propileno en presencia de amoniaco.

La acroleína se obtiene por oxidación del propileno. Sirve como intermediario en la fabricación de glicerina.

Derivados del buteno

Buteno
- Polibutileno
- Butanol
- Metiletilcetona
- Ácido acético
- Anhídrido maléico

La fabricación industrial del polibuteno se realiza mediante la polimerización por la formación de radicales del 1-buteno en presencia de catalizadores.

Industrialmente, el butanol o alcohol butílico se obtiene al hacer reaccionar el buteno con agua en presencia de ácido sulfúrico.

$$CH_2 = CH - CH_2 - CH_3 + H_2O \xrightarrow[H_2SO_4]{} CH_3 - \overset{OH}{\overset{|}{C}}H - CH_2 - CH_3$$

El butanol, por oxidación conduce a la obtención de metiletilcetona.

El ácido acético también se fabrica a partir del buteno, a través de dos etapas; en la primera se presenta la formación de acetato de butilo, y posteriormente, mediante la oxidación de este compuesto, se llega a la formación del ácido acético.

Igual que en los procesos anteriores, el anhídrido maléico se obtiene por oxidación del butano.

Derivados del butadieno

Butadieno
- Polibutadieno
- Diclorobutenos → Hexametilendiamina
- 1,4-Diacetoxi-2-buteno → 1,4 butanodiol
- 3,4 dicloro-1buteno → Cloropreno

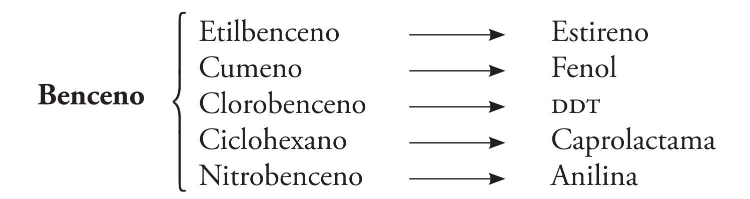
El polibutadieno se obtiene mediante la polimerización del butadieno por formación de radicales y en presencia de catalizadores.

El butadieno también se utiliza como materia prima base para la fabricación de la hexametilendiamina, que es uno de los monómeros utilizados para la fabricación del nailon.

El 1,4-butanodiol derivado del butadieno se usa en la fabricación del tetrahidrofurano, que es un solvente de gran importancia dentro de la industria química. Este diol también se emplea en las síntesis de poliuretanos y poliésteres, y en la fabricación de plastificantes poliméricos.

El cloropreno, al polimerizar, permite la obtención del policloropreno, un polímero que tiene como cualidad una alta resistencia a la solución por aceites, solventes y resistencia química al ozono.

Derivados del benceno



El etilbenceno se obtiene industrialmente mediante la alquilación del benceno con una olefina, el etileno.

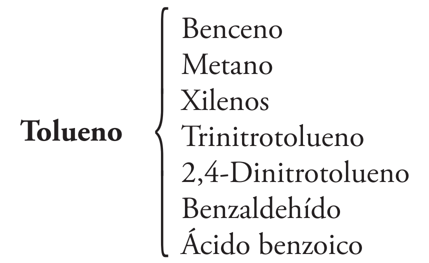
El benceno se hace reaccionar con el propileno para obtener el cumeno. Este derivado petroquímico es muy importante, pues se utiliza como materia prima para hacer el fenol. El fenol se emplea para producir resinas fenólicas, pero también para la fabricación del bisfenol-A, producto base para la producción de resinas epóxicas. El fenol también se utiliza para la fabricación del ácido acetilsalicílico, el principio activo de la aspirina.

El clorobenceno se obtiene industrialmente al hacer reaccionar el benceno con cloro gaseoso en presencia de catalizadores metálicos.

El proceso para obtener industrialmente ciclohexano es mediante hidrogenación del benceno. El ciclohexano se utiliza en la fabricación de caprolactama, otro monómero empleado en la síntesis del nailon.

El nitrobenceno se obtiene haciendo reaccionar el benceno con ácido nítrico en presencia de ácido sulfúrico. Éste se usa casi totalmente para fabricar anilina.

Derivados del tolueno



El tolueno se transforma industrialmente en benceno y metano mediante reacciones de hidroalquilación.

A través de reacciones de transposición, el tolueno se puede transformar en benceno y diferentes xilenos.

La nitración del tolueno, permite la síntesis de trinitrotolueno y 2,4-dinitrotolueno, compuestos con enormes aplicaciones industriales.

La fabricación del benzaldehído y del ácido benzoico se logra al someter al tolueno a reacciones de oxidación. El segundo se utiliza para hacer pastas dentífricas, así como en la fabricación de plastificantes y como aditivo en plásticos para darles mayor transparencia. También, por su poder germicida, los benzoatos o sales de sodio del ácido benzoico se emplean en la industria alimenticia como conservadores.

Mediante la cloración y la carbonilación, el tolueno puede transformarse en benzaldehído. El cloruro de bencilo y el benzaldehído se utilizan industrialmente en la fabricación de cosméticos del tipo de los jabones y perfumes.

Derivados del xileno

Xileno { *p*-Xileno { Ácido tereftálico; Tereftalato de dimetilo }

Los derivados que industrialmente se pueden obtener del xileno son el ácido tereftálico, mediante carbonización, y posteriormente se puede llegar hasta el tereftalato de dimetilo.

Estos materiales son muy importantes en la fabricación de envases y fibras sintéticas. Precisamente son la materia prima para la fabricación de uno de los materiales más conocidos: el polietilentereftalato o PET, que también se utiliza en la fabricación de fibras sintéticas, como el poliéster.

Productos químicos de tercer nivel o terminados

Sería prácticamente imposible tratar de explicar en este libro las diferentes etapas de fabricación de los distintos productos terminados que se preparan a partir de sustancias químicas orgánicas, por lo que de manera general, en este apartado sólo se hablará, de manera esquemática, de la fabricación de productos de uso cotidiano a partir de los **productos químicos básicos** y secundarios (figura 7.19).

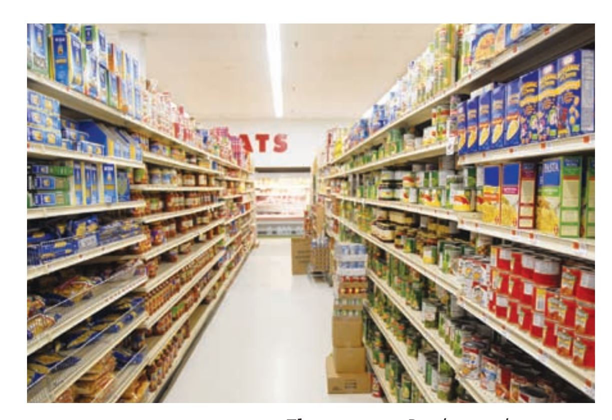


Figura 7.19 *Productos de tercer nivel o terminados* En los supermercados se encuentra una gran variedad de productos terminados, la mayoría pasaron por un proceso de fabricación.

Para tratar de explicar este apartado, se han seleccionado los polímeros que permitirán, de manera fácil, resumir todas las etapas de fabricación de estos materiales que se utilizan normalmente en productos tan usuales como envases para detergentes, aceites automotrices, champús, lácteos, bolsas para supermercados, cajas para refrescos, cubetas para pintura, helados, tambores o toneles, tubería para gas, agua potable, minería, drenaje y uso sanitario, macetas, bolsas tejidas, envases para agua mineral, aceites comestibles, jugos, mayonesa, perfiles para marcos de ventanas, puertas, caños para desagües domiciliarios y de redes, mangueras, juguetes, envolturas para golosinas, películas flexibles para envasado de carnes, fiambres, y verduras, revestimiento de sables, papel vinílico, catéteres, bolsas para sangre, etcétera.

Polietileno El polietileno es un polímero fabricado a partir de un producto químico primario o básico, el etileno, que a su vez es elaborado a partir del etano, uno de los componentes del gas natural. El polietileno también puede obtenerse, como se vio anteriormente, de nafta, una de las fracciones del petróleo (figura 7.20). Es muy versátil y se puede transformar de diversas formas, de las cuales se hablará más adelante.

Hay cuatro tipos de polietilenos: el de **baja densidad** (LDPE), que se produce a altas presiones y temperaturas (190 °C y 150 mPa); el de **alta densidad** (HDPE), que se produce bajo condiciones menos drásticas (l00 °C y 1000 kPa); el polietileno **lineal de baja densidad** (LLDPE), el cual se sintetiza utilizando además de etileno, el gas butano o gas hexeno, y finalmente el polietileno de **ultra alto peso molecular** (HMWPE), que se produce en condiciones especiales, conocidos respectivamente como LDPE, HDPE, LLDPE y HMWPE, por sus siglas en inglés. Como su nombre lo indica, la principal diferencia entre ellos es una propiedad física, la densidad, que se abordó en párrafos anteriores.

La reacción que permite la fabricación del polietileno tiene lugar en fase gaseosa y ocurre de la siguiente manera:

$$\mathrm{ROOR} \xrightarrow[\Delta]{} 2\mathrm{RO}\cdot \qquad \text{Generación de radicales}$$

$$\mathrm{CH_2{=}CH_2 + RO\cdot} \xrightarrow[\mathrm{Al_3Cl\,(TiCl_3)_3}]{} \mathrm{RO{-}CH_2{-}CH_2\cdot} \qquad \text{Iniciación}$$

$$\mathrm{RO{-}CH_2} + n\mathrm{CH_2{=}CH_2} \xrightarrow[\mathrm{Al_3Cl\,(TiCl_3)_3}]{} \mathrm{RO{-}(CH_2{-}CH_2)_{\mathit{n}}\cdot} \qquad \text{Propagación}$$

La densidad del polietileno está directamente relacionada con su capacidad de ordenamiento molecular, de manera que mientras más ordenadas se encuentren sus moléculas, más masa por unidad de volumen contendrá.

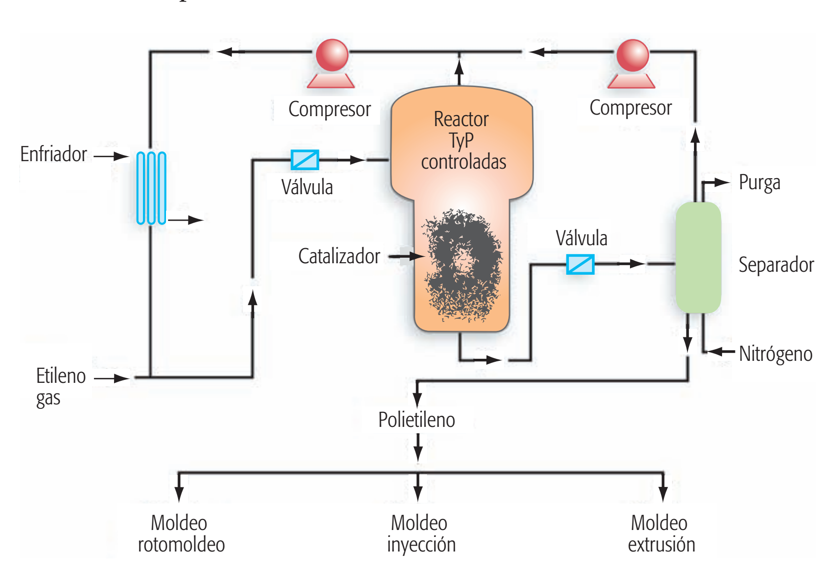


Figura 7.20 *Esquema de la producción industrial del polietileno*

Policloruro de vinilo (PVC). Este polímero se produce a partir de cloruro de vinilo, un producto químico secundario.

Éste es, tal vez, el polímero más versátil, pues con él se pueden fabricar productos acabados tan suaves como unas sandalias para baño (figura 7.21), hasta piezas tan

rígidas como tubería para drenaje. Todo depende de su formulación, puesto que durante la fabricación del PVC se pueden incluir otras sustancias conocidas como plastificantes, que confieren diferentes grados de flexibilidad al polímero.



Figura 7.21 *Policloruro de vinilo* Polímero versátil con el que se elaboran productos tan suaves como las sandalias para baño.

Las reacciones de polimerización del cloruro de vinilo, básicamente se presentan en las mismas etapas que las de la polimerización del etileno: una, de generación de radicales libres, seguida de la reacción que inicia la polimerización y la de crecimiento o propagación de la cadena polimérica, y al final, por una etapa de terminación.

A diferencia del proceso de obtención de polietileno, para la obtención de PVC se utiliza agua. Esto es debido a que la reacción de polimerización es altamente exotérmica, y precisamente el agua le permite disipar el calor de reacción. Por la misma razón, una vez obtenido el producto, hay que separar el agua utilizando una centrífuga. El proceso a nivel industrial se representa esquemáticamente en la figura 7.22.

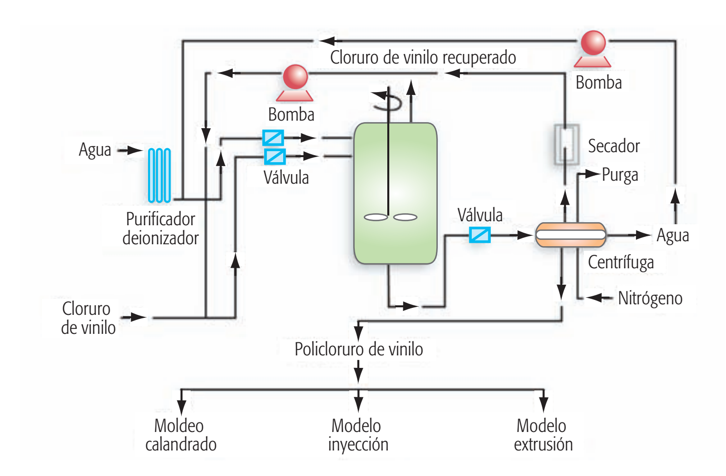


Figura 7.22 *Esquema de la producción industrial del policloruro de vinilo (PVC)*

Nailon No obstante su resistencia mecánica, es un material con el que se pueden fabricar infinidad de productos y es más conocido en forma de fibras sintéticas.

Para la preparación del nailon se requiere ácido adípico, éste se obtiene por oxidación del ciclohexano en presencia de aire, utilizando una sal de cobalto como catalizador.

$$C_6H_{12} + 2O_2 \xrightarrow[\text{Sal de cobalto}]{} C_6H_{11}{-}OH + C_6H_{10}{=}O + 2H_2O$$

Ciclohexano Ciclohexanol Ciclohexanona

$$C_6H_{11}{-}OH + C_6H_{10}{=}O + 2HNO_3 \xrightarrow[T,P]{} HOOC\,(CH_2)_4COOH + xN_2O + xNO$$

Ciclohexanol Ciclohexanona Ácido adípico

La reacción del ácido adípico y la hexametilendiamina producen adipato de hexametilendiamonio, conocida como sal de nailon, y posteriormente se hace reaccionar para producir el polihexametilendipamida, mejor conocido como nailon 6.6, según la siguiente reacción.

$$HOOC(CH_2)_4COOH + H_2N(CH_2)_6NH_2 \longrightarrow$$

Ácido adípico Hexametilendiamina

$$(H_2N(CH_2)_6NH_3OOC(CH_2)_4COO{-}) \longrightarrow$$

Adipato de hexametilendiamina

$$({-}HN(CH_2)_6NHOC(CH_2)_4CO{-}) + H_2O$$

Nailon 6,6

El proceso industrial se representa en la figura 7.23. En ésta se observa que debido al uso de agua y al agua resultante, como subproducto de la reacción, se requiere, una vez formado el polímero, eliminar ésta en una etapa final mediante un evaporador.

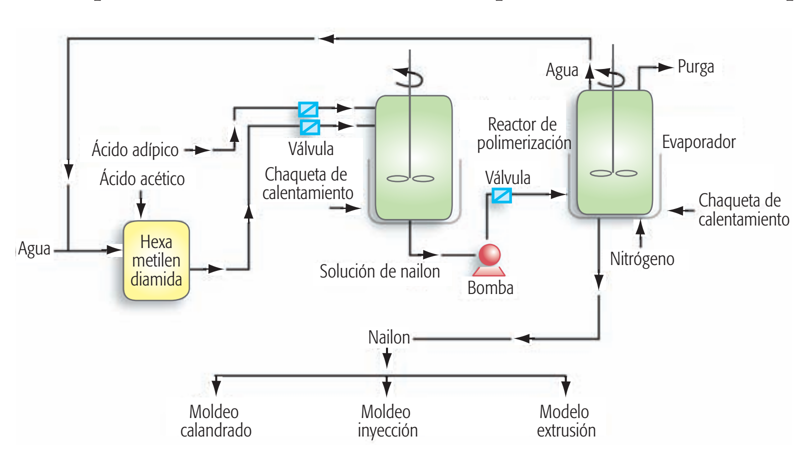


Figura 7.23 *Esquema de la producción industrial del nailon*

Es muy importante la eliminación de agua antes de proceder a la fabricación de cualquier producto de nailon, debido a que este polímero se hidroliza muy fácilmente bajo las condiciones de operación de los equipos utilizados para la transformación de polímeros en productos terminados.

Procesos de transformación de los polímeros

Ya se ha hablado de los diversos productos que se pueden fabricar a partir de polímeros. Pues bien, en la industria existen diferentes tipos o técnicas para transformar los

polímeros en productos que son utilizados directamente por los consumidores. Los más usuales son el moldeo por inyección y el moldeo por extrusión, ya que a través de estas técnicas se procesa prácticamente 90% de los materiales plásticos en general.

Moldeo por inyección. Este proceso de transformación se presenta en dos etapas; en la primera se alimenta el material de una tolva a un cilindro, el cual contiene en el interior un tornillo sinfín (husillo), y en el exterior resistencias eléctricas para su calentamiento. Dentro del cilindro ocurre la fusión del material, y posteriormente, en una segunda etapa el material en forma de líquido viscoso se transfiere al molde. El molde contiene en el interior lo que se conoce como la cavidad de moldeo, la cual es básicamente un hueco con la forma de la pieza que se desea moldear. Por ejemplo, si lo que se fabrica es una cubeta para pintura, entonces la parte interna del molde tendrá una forma cilíndrica, que permitirá la fabricación de las paredes de la cubeta, combinada con una forma circular, que sería básicamente la base de la cubeta (figura 7.24).

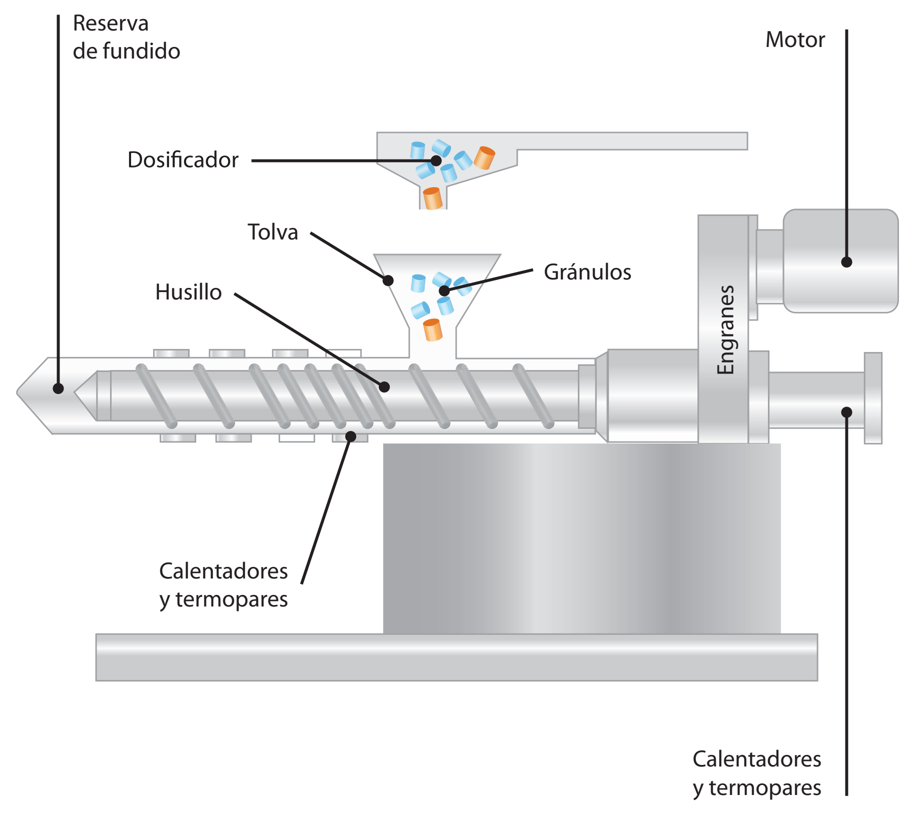


Figura 7.24 *Moldeo por inyección* Mediante esta técnica se fabrican, además de algunos juguetes, componentes para automóviles, aviones y naves espaciales.

Este proceso de transformación de plásticos ocurre por ciclos, denominados ciclos de inyección, que son: el cierre del molde, la inyección del plástico fundido a la cavidad de moldeo, el enfriamiento de la pieza inyectada y la apertura del molde para la expulsión de la pieza.

En este tipo de procesos es muy importante la viscosidad del material fundido, que cambia con la temperatura. Si el material fundido se hace más fluido, entonces se llenará más fácilmente la cavidad del moldeo, pero aunque esto pueda parecer óptimo, mientras más caliente se encuentre el material con el que se alimenta la cavidad de moldeo, más tiempo requerirá para su enfriamiento. Este es un gran ejemplo de por qué es importante conocer las propiedades de la materia en la optimización de los procesos de producción de productos químicos orgánicos.

Moldeo por extrusión. En este proceso de transformación de polímeros, al igual que en el moldeo por inyección, el material polimérico se alimenta a través de una tolva a un cilindro que contiene en su interior un tornillo sinfín girando, y en el exterior, una serie de resistencias eléctricas para suministrar el calor necesario para la fusión del polímero de que se trate.

Su funcionamiento es básicamente igual que el de la inyectora de plásticos, excepto porque a diferencia de las máquinas de inyección, en las de extrusión, el producto terminado se fabrica haciendo pasar el material fundido a través de un dado o boquilla que le da la forma final al producto. Por ejemplo, si lo que se va a fabricar es una manguera o tubos, entonces se hará pasar el material fundido a través de dos cilin-

dros concéntricos, con diámetros de acuerdo con el tamaño del diámetro de la manguera que se desee fabricar. Exactamente a la salida del dado o boquilla, se coloca un sistema de enfriamiento para que el material que sale fundido en forma de tubo o manguera se solidifique inmediatamente y mantenga la forma cilíndrica que se desea.

Este proceso también se utiliza en la fabricación de bolsas de plástico, pero cuando sale el material fundido en forma de tubo, se le inyecta internamente aire caliente para que el tubo se infle hasta un diámetro determinado en función del tamaño de las bolsas que se desean fabricar.

Para el caso de fabricación de fibras sintéticas, el equipo utilizado es también una extrusora, y el dado o boquilla contiene un sistema, más o menos como un filtro, a través del cual pasa el material fundido y se forman los monofilamentos. Éstos salen aproximadamente de medio milímetro de diámetro. Dependiendo del tipo de aplicación a que estén destinadas las fibras, algunas veces éstas requieren un estiramiento posterior para ser llevadas a los diámetros adecuados para fabricar el tipo de tejido seleccionado de acuerdo con el uso, por ejemplo, fibras para ropa, fibras para hacer lazos, fibras para alfombras, etcétera.



Figura 7.25 *Plásticos moldeados* Los plásticos moldeados se usan para fabricar objetos con cualidades de fuerza y duración superiores a los materiales que se empleaban antes. Mientras que una mesa de jardín de madera se va deteriorando, es difícil que el plástico se maltrate. Actualmente, muchas de las mesas de jardín se fabrican con plástico reciclado.

Reciclado de polímeros

Como muchos de los productos plásticos se utilizan como contenedores de otros productos de mayor valor agregado, es común que estos contenedores se desechen y se acumulen en los basureros, causando daños ecológicos importantes. Por esta razón se están haciendo esfuerzos a nivel internacional para recuperar los plásticos utilizados que se desechan y forman parte de los residuos sólidos urbanos en los basureros (figura 7.25).

Debido a que muchos de los productos fabricados a partir de polímeros pueden recuperarse y reutilizarse, pero no todos pasan por el mismo proceso para ser reutilizados, se ha llegado al acuerdo internacional de designar a cada tipo de producto desechable un número que permita su correcta separación. A continuación se indica el número asignado a los plásticos de mayor uso. El triángulo con flechas indica que pueden ser reciclados (figura 7.26).



PET
Polietileno tereftalato o polietilentereftalato



PEAD
Polietileno de alta densidad



PVC
Policloruro de vinilo



PEBFP
Polietileno de baja densidad



PP
Polipropileno



PS
Poliestireno

Figura 7.26 *Simbología en los plásticos* Los diferentes envases plásticos, fabricados de polímeros distintos, deben pasar por procesos específicos para su reciclaje, y para facilitar su selección se les asignó una simbología.

¿Sabías que...?

El politereftalato de etileno o polietileno tereftalato, más conocido por sus siglas en inglés como PET, es un tipo de plástico muy usado en envases de bebidas y textiles.

Manos a la obra: Obtención de polímeros sintéticos

Desde hace algunas décadas, con el surgimiento de la industria petroquímica, se ha obtenido un gran número y una amplia variedad de polímeros sintéticos, entre los que se encuentra el polietileno, el PVC, hules sintéticos y policarbonatos a partir de sustancias derivadas del petróleo.

La polimerización puede llevarse a cabo mediante dos procesos:

a) **Por adición**, en donde las unidades son moléculas de un monómero no saturado que requieren un iniciador que provoque la ruptura de la insaturación para lograr los enlaces en cadena en forma lineal.

b) **Por condensación**, en ésta al efectuarse la reacción entre los monómeros hay pérdida de moléculas de agua o de otra molécula sencilla. Los polímeros obtenidos por este proceso pueden ser **lineales**, como las fibras de nailon 6,6 o de poliéster, como la terlenka y el tergal, o bien **reticulados**, como las resinas de sílice o la baquelita, entre otros.

Los plásticos pueden subdividirse en dos grupos: **termoplásticos** y **termofijos**. Los termoplásticos se reblandecen al calentarse y pueden ser moldeados o remoldeados; los termofijos, por ser redes de enlaces tridimensionales, deben moldearse durante la etapa de polimerización y no pueden remoldearse.

Polímeros termoplásticos: Hule sintético

Material

- vaso de precipitados de 400 mL
- vaso de precipitados de 250 mL
- varilla de vidrio
- cuchara

Sustancias

- 125 mL de látex de hule sintético
- 200 mL de ácido acético al 10 %

Procedimiento

Prepara en el vaso de precipitados de 250 mL la solución del ácido acético. Coloca el látex en el vaso de precipitados de 400 mL y añade poco a poco la solución del ácido. Agita con una varilla de vidrio hasta que todo el látex se coagule. Saca con una cuchara el hule formado y comprímelo con las manos para formar una pelota que rebote con facilidad.

Polímeros termofijos: Resina de fenol-formaldehído (baquelita)

Material

- vaso de precipitados de 200 mL
- 1 gotero

Sustancias

- 10 mL de formol al 10%
- 4 g de fenol
- 1 mL de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4)

Procedimiento

Agrega la solución de formol en el vaso de precipitados y luego el fenol. Después añade el ácido sulfúrico gota a gota, agitando. Deja reposar la mezcla de 2 a 3 días para la polimerización completa por condensación para que pueda formarse la resina.

De acuerdo con los resultados de los experimentos anteriores complementa la siguiente tabla con la información que se te pide.

Polímero	Aspecto	Color	Dureza	Tiempo de formación
Hule sintético				
Baquelita				

Concluye

1. ¿Es posible obtener un polímero sintético con técnicas sencillas de laboratorio? ¿Por qué?

____
____
____

2. ¿Qué material se obtuvo con mayor facilidad, un termoplástico o un termofijo?

____
____
____

Palabras clave

Lo que aprendí

1. ¿Qué tipo de problemáticas han expuesto los grupos ambientalistas respecto al desarrollo tecnológico de la industria química?

2. ¿Qué tipo de energías se necesitan aplicar en todo proceso químico?

3. ¿Por qué consideras importante el control de la energía calorífica durante los procesos de producción a nivel industrial?

4. ¿Cómo varían la solubilidad, la densidad y la viscosidad de las sustancias en función de la temperatura?

5. ¿A qué se llama solubilidad?

6. Menciona las fuentes principales de los hidrocarburos para la obtención industrial de productos químicos orgánicos.

7. Escribe la reacción química que se produce durante la transformación del etileno en ácido acético y descríbela brevemente con tus propias palabras.

8. Escribe la reacción química que se produce durante la transformación del propileno en acetona y descríbela brevemente con tus propias palabras.

9. Escribe la reacción química que se produce durante la transformación del tolueno en dinitrotolueno utilizando como catalizador ácido sulfúrico. Descríbela brevemente con tus propias palabras.

10. Investiga y escribe en inglés el nombre completo de los siguientes polietilenos: LDPE, HDPE, LLDPE, HMWPE.

11. ¿Por qué durante la fabricación del PVC es necesario añadir agua al reactor de polimerización?

12. ¿Por qué es necesario eliminar completamente la humedad del nailon antes de proceder a la fabricación de fibras sintéticas para la fabricación de medias?

13. Describe qué diferencias existen entre el moldeo por inyección y el moldeo por extrusión de polímeros.

14. Lleva a cabo una inspección de los alimentos envasados que hay en tu casa y determina, de acuerdo con el triángulo de reciclado que aparece en ellos (normalmente en la base del envase), cuál es el polímero más común usado para la fabricación de envases alimenticios. Compara sus resultados con los obtenidos por tus compañeros.

Glosario

A

acetona: nombre común de la cetona propanona.

ácido carboxílico: tipo de compuesto que contiene en su estructura al menos un grupo carboxilo (—COOH).

ácidos grasos no saturados: ácidos en donde, por lo menos, hay un enlace doble.

ácidos grasos saturados: ácidos en donde todos los átomos de carbono se encuentran unidos mediante enlaces sencillos.

ácidos grasos: ácidos carboxílicos de cadena larga que forman las grasas y los aceites.

ADN: ácido desoxirribonucleico; contiene la información genética.

alcaloides: nombre genérico de algunas aminas heterocíclicas.

alcano: hidrocarburo donde los enlaces entre los átomos de carbono son sencillos.

alcohol: nombre trivial para etanol.

alcoholes: compuestos orgánicos que tienen el grupo funcional hidroxilo (—OH).

aldehído: compuesto orgánico que contiene el grupo carbonilo en un extremo de su molécula unido a un hidrógeno y a un radical alquilo (—CHO).

aldosa: carbohidrato con un grupo funcional aldehído.

almidón: polisacárido que es el producto de reserva de glucosa en algunos vegetales.

alquenos: hidrocarburos no saturados en donde cuando menos existen dos átomos de carbono unidos con un enlace doble.

alquilación: reacción de un alcano con un alqueno para obtener un alcano ramificado.

alquilo: radical que se forma cuando a un alcano se le elimina un átomo de hidrógeno.

alquinos: hidrocarburos no saturados en cuyas moléculas existen, cuando menos, dos átomos de carbono unidos con un enlace triple.

aminas: compuestos que se forman cuando en el amoniaco (NH_3) se sustituyen uno, dos o los tres átomos de hidrógeno por radicales alquilo.

aminoácidos: compuestos orgánicos derivados de los ácidos carboxílicos cuando un átomo de hidrógeno es sustituido por el grupo amino (—NH_2); son los monómeros de las proteínas.

ARN: ácido ribonucleico; tiene un papel importante en la síntesis de las proteínas.

azúcar: sinónimo de carbohidratos.

C

carbohidratos: compuestos orgánicos cuyas moléculas están formadas por carbono, hidrógeno y oxígeno en proporción de dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno por cada átomo de carbono.

catalizadores: sustancias que varían la velocidad de una reacción sin sufrir alteraciones en su estructura interna.

celulosa: polisacárido que constituye el tejido de sostén de los vegetales.

cetona: compuesto orgánico que contiene al menos un grupo carbonilo unido a dos radicales alquilo.

cicloalcanos: hidrocarburos de cadena cerrada, cíclicos, en los que cada eslabón de la cadena es un metileno (—CH_2—).

cicloalquenos: hidrocarburos no saturados de cadena cerrada, que contienen en su molécula, cuando menos, dos átomos de carbono unidos con un enlace doble.

cicloparafinas: nombre común de los cicloalcanos.

clorofluorocarbonos (CFCs): compuestos que contienen en su molécula átomos de cloro y flúor unidos a carbono.

colesterol: lípidoal que no se considera como grasa o aceite; interviene en la formación de sustancias de regulación importante, como las hormonas.

compuesto covalente: compuesto que se forma cuando los átomos que se combinan comparten electrones.

compuesto iónico: compuesto que se forma cuando los átomos que se combinan pierden o ganan electrones, convirtiéndose en iones.

compuestos aromáticos: compuestos que contienen por lo menos un grupo bencénico y deben su nombre a que muchos de ellos tienen olores notorios y fuertes.

concatenación: particularidad que tienen los átomos de carbono de unirse unos con otros formando cadenas.

craqueo: fraccionamiento de grandes moléculas de hidrocarburos de peso molecular elevado en otras de menor peso molecular.

D

densidad: relación entre la masa y el volumen de un cuerpo.

derivados halogenados: compuestos que resultan al sustituir uno o más átomos de hidrógeno en un hidrocarburo por átomos de algún halógeno.

derivados monohalogenados: compuestos que resultan al sustituir un átomo de hidrógeno en un hidrocarburo por un átomo de algún halógeno.

derivados polihalogenados: compuestos que se obtienen al sustituir dos o más átomos de hidrógeno de un hidrocarburo por dos o más átomos de algún halógeno.

destilación: procedimiento empleado para separar sustancias mezcladas con diferentes puntos de ebullición, mediante la evaporación de un líquido y posteriormente la condensación de vapor.

destilación fraccionada: separación de las fracciones o partes que forman una mezcla mediante la repetición de ciclos de evaporación y condensación.

disacárido: carbohidrato que resulta de la unión de dos monosacáridos.

E

electrolito: compuesto que conduce la electricidad fundido o en solución acuosa.

enlace covalente: enlace que ocurre cuando los átomos que se combinan comparten electrones.

enlace doble: enlace que ocurre cuando dos átomos comparten dos pares de electrones.

enlace peptídico: enlaces entre los aminoácidos de una proteína mediante el grupo amido.

enlace sencillo: enlace que ocurre cuando dos átomos comparten un par de electrones.

enlace triple: enlace que ocurre cuando dos átomos comparten tres pares de electrones.

enzimas: proteínas que actúan como catalizadores biológicos.

éster: compuesto orgánico que se forma mediante la reacción de un ácido carboxílico con un alcohol.

estructura de Lewis: esquema que representa los electrones de valencia de un átomo mediante puntos u otros símbolos pequeños que se colocan alrededor del símbolo de un elemento.

éteres: compuestos orgánicos formados por dos radicales alquilo unidos mediante un átomo de oxígeno.

F

fenilo: radical que se obtiene al eliminar un átomo de hidrógeno al benceno.

formol: nombre común del adehído metanal cuando está disuelto en agua, al 40%.

fórmula desarrollada: fórmula que indica en un plano la estructura de la molécula representando el modo de agrupación de todos los átomos señalando los enlaces.

fórmula molecular: indica únicamente el número de átomos de carbono e hidrógeno que hay en la molécula utilizando subíndices.

fórmula semidesarrollada: fórmula en la que cada átomo de carbono y los átomos de hidrógeno que a él se unen, se escriben en forma de grupo, añadiendo subíndices al hidrógeno.

freón: nombre común para el diclorodifluorometano.

G

glicéridos monoinsaturados: contienen en su molécula un enlace doble entre carbonos.

glicéridos poliinsaturados: contienen dos o más enlaces dobles en sus moléculas.

glicéridos: grasas y aceites que son mezclas de ésteres que resultan de la reacción de ácidos grasos de peso molecular elevado con glicerina.

glicerina: Nombre común para el alcohol polivalente llamado propanotriol.

glucógeno: es el equivalente al almidón de los animales; constituye la reserva de energía en el organismo.

H

halógenos: grupo o familia que comprende al flúor, cloro, bromo, yodo.

heterocíclicos: compuestos en los que, por lo menos, uno de los átomos de carbono que forman estructuras cíclicas se encuentra sustituido por otro elemento diferente al hidrógeno.

hidrocarburo: compuesto formado únicamente por hidrógeno y carbono.

hidrocarburo saturado: hidrocarburo en donde todos los enlaces que unen a los átomos de carbono son sencillos.

hidrocarburos no saturados: compuestos en los que por lo menos existe un enlace doble o triple entre dos átomos de carbono.

hidrólisis: desdoblamiento de la molécula de ciertos compuestos orgánicos por la acción del agua, por ejemplo los triglicéridos se descomponen en glicerina y ácidos grasos por la acción del agua en presencia de catalizadores.

I

insaturados: compuestos que tienen un enlace doble entre dos atómos de carbono.

isocíclicos: compuestos orgánicos cíclicos en los que el ciclo está formado solamente por atómos de carbono. Se dividen en alicíclicos y aromáticos.

isomería: propiedad que tienen algunos compuestos con igual número de átomos en sus moléculas, pero con diferente estructura, lo que les confiere características físicas y químicas distintas.

isomerización: método que consiste en la transformación de hidrocarburos de cadena recta en otras ramificaciones.

J

jabón: sal de sodio o potasio de ácido graso.

Joule: unidad de energía calorífica.

L

lípidos: compuestos orgánicos que sirven para almacenar energía en los organismos vegetales y animales; son ejemplos comunes de lípidos las grasas, los aceites y las ceras.

M

monómero: unidad fundamental que se repite cientos, miles o millones para formar los polímeros.

monosacáridos: son los azúcares más simples.

O

octanaje: poder antidetonante de las gasolinas.

olefinas: nombre común de los alquenos.

orbital: espacio alrededor del núcleo atómico donde la probabilidad de encontrar un electrón es mayor.

P

parafinas: nombre común que se otorga a los alcanos.

PET: siglas con las que se identifica el polímero de nombre polietilentereftalato.
polímero: molécula gigante o macromolécula formada por la unión de unidades llamadas monómeros.
polisacáridos: polímeros de cadena larga cuyos monómeros son monosacárido.
proteínas: compuestos formados por cadenas de aminoácidos, cuyas funciones son estructurales y regulación del metabolismo.
puente de hidrógeno: atracción bipolar entre un átomo de hidrógeno enlazado a un elemento muy electronegativo (oxígeno, nitrógeno, flúor) y otro átomo de oxígeno, nitrógeno o flúor.
PVC: siglas en inglés con las que se identifica al cloruro de polivinilo.

Q

química orgánica: rama de la química que trata del estudio de los compuestos del carbono.

R

reactores químicos: básicamente son los recipientes industriales en los que se puede trabajar para obtener producciones de mediana a gran escala.

S

saponificación: reacción mediante la cual se obtiene jabón a partir de grasas y aceites.
solubilidad: capacidad de una sustancia para disolverse en otra.

T

tecnología química: conjunto de técnicas para la elaboración a gran escala de productos químicos.
teflón: nombre con el que se conoce al politetrafuoroetileno.
tetravalente: átomo que forma cuatro enlaces.
triglicéridos: compuestos que resultan cuando la molécula de glicerina se combina con tres moléculas de ácidos grasos.

U

urea: sustancia orgánica producida por animales y obtenida en forma artificial en 1828.

V

vinagre: solución acuosa al 5% de ácido etanoico o acético en agua.
vitamina C: nombre común del ácido ascórbico.

Bibliografía

Chang, R., *Principios esenciales de química general*, 4a. ed., McGraw-Hill, España, 2006.

Daub, W., y W. Seese, *Química*, 8a. ed., Pearson, 2005.

Garritz, A., y J.A. Chamizo, *Química*, Pearson Educación, México, 1994.

Goldberg, D.E., *Química*, Serie Schaum, McGraw-Hill, México, 2006.

Hein, M., y S. Arena, *Fundamentos de química*, 10a. ed., Thomson Learning, México, 2001.

Phillips, J.S., Strozak, V.S., y C. Wistrom, *Química, Conceptos y aplicaciones*. 3a. ed., McGraw-Hill, México, 2012.

Tyler Miller, G., *Ciencia ambiental y desarrollo sostenible*, 8a. ed., Thomson, México, 2007.

Zárraga, J.C., Velázquez, I., Rojero, A., y Y. Castells, *Química*, McGraw-Hill, México, 2003.

Zárraga, J.C., Velázquez, I., y Rojero, A., *Química experimental*, *Prácticas de laboratorio*, México, 2004.

Zumdahl, S.S., *Fundamentos de química*, 5a. ed., McGraw-Hill, México, 2007.

Índice

Nota: para este índice, la letra *f, c,* o *m* que sigue al número de página, hace referencia a que la voz está en una figura, cuadro o mapa conceptual, respectivamente.

A

B

C

D

E

F

G

H

I

J

K

L

M

N

O

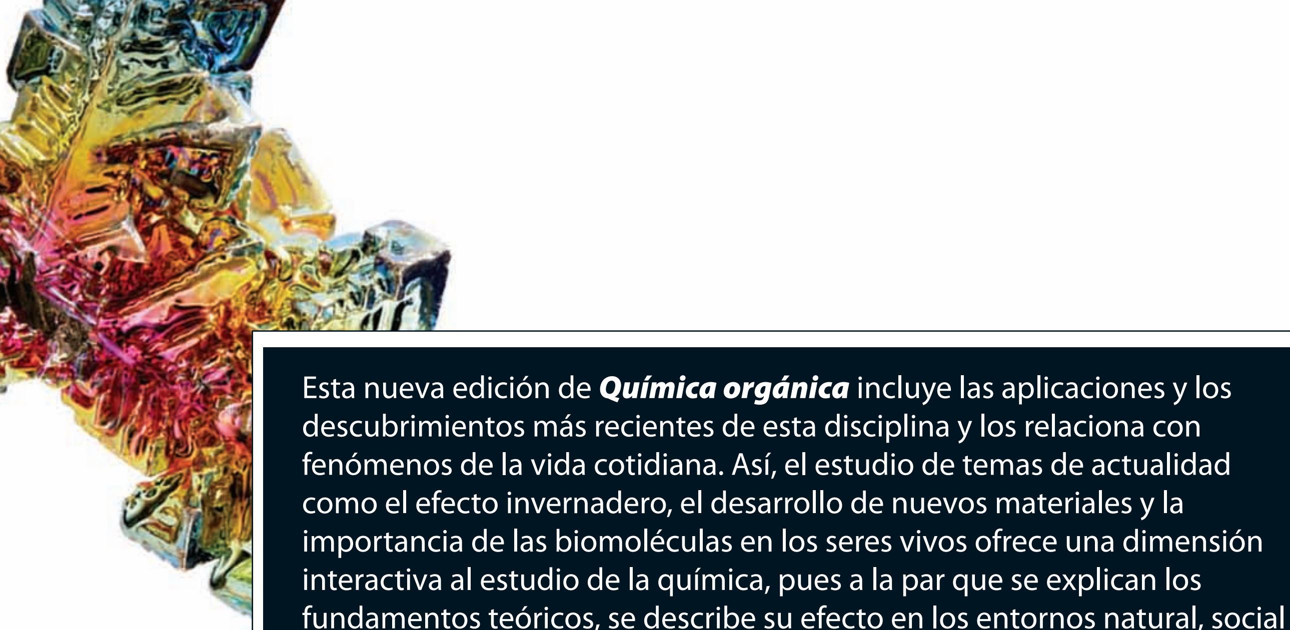
P

Q

R

S

T



Esta nueva edición de ***Química orgánica*** incluye las aplicaciones y los descubrimientos más recientes de esta disciplina y los relaciona con fenómenos de la vida cotidiana. Así, el estudio de temas de actualidad como el efecto invernadero, el desarrollo de nuevos materiales y la importancia de las biomoléculas en los seres vivos ofrece una dimensión interactiva al estudio de la química, pues a la par que se explican los fundamentos teóricos, se describe su efecto en los entornos natural, social y tecnológico.

En cada unidad el lector encontrará actividades, lecturas, prácticas de laboratorio y diferentes tipos de evaluaciones, con las cuales el estudiante consolidará sus conocimientos.

Tabla de contenido





The McGraw·Hill Companies





